

PROYECTO DE EMBARCACIÓN HISTÓRICA VELERO CLASE R, PIRATE

R-class 'Pirate' historic sloop project



Grado en
Arquitectura Naval e
Ingeniería de
Sistemas Marinos

*Universidad
Politécnica de
Cartagena*

Autor: Álvaro Pérez Mullois

Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

Curso académico: 2020/2021

Índice

Índice de figuras	5
Índice de tablas	6
Capítulo 1 – Reseña histórica	11
Capítulo 2 – Dimensionamiento.....	16
2.1 Introducción	17
2.2 Dimensionamiento	23
2.2.1 Eslora máxima <i>L_{máx}</i>	23
2.2.2 Eslora del casco <i>LH</i>	23
2.2.3 Eslora de flotación <i>LWL</i>	23
2.2.4 Manga máxima y manga del casco <i>B_{máx}</i> y <i>BH</i>	23
2.2.5 Manga en flotación <i>BWL</i>	24
2.2.6 Puntal máximo, <i>D_{máx}</i>	24
2.2.7 Puntal en la mitad de la eslora, <i>DLWL2</i>	24
2.2.8 Francobordo en la mitad de la eslora, <i>FH</i>	24
2.2.9 Calado máximo, calado mínimo y calado del cuerpo de la embarcación <i>T_{máx}</i> , <i>T_{mín}</i> y <i>T_c</i>	25
2.2.10 Calado en condición de carga máxima.....	25
2.2.11 Calado aéreo <i>Ha</i>	25
2.2.12 Altura libre.....	25
2.2.13 Superficie velica de referencia <i>As</i>	26
2.2.14 Desplazamiento.....	26
2.2.15 Superficie mojada.....	26
2.2.16 Número de tripulantes	27
2.2.17 Embarcación en rosca	27
2.2.18 Carga máxima.....	28
Capítulo 3 – Sistema de propulsión.....	29
3.1 Posibles sistemas de propulsión	30
3.1.1 Motor fueraborda	30
3.1.1.1 Motor fueraborda fijo	31
3.1.1.2 Motor fueraborda desmontable	31
3.1.1.3 Motor sumergible.....	33
3.1.2 Motor intraborda	34
3.1.2.1 Propulsor convencional.....	34

3.1.2.2 Propulsión a través de un eje que atravesase el casco por un costado	35
3.1.2.3 Saildrive	35
3.1.3 Selección del sistema propulsor	37
3.2 Recarga mediante fuentes renovables.....	38
3.3 Cálculo del sistema de propulsor	39
3.3.1 Predicción de la potencia necesaria y selección del sistema propulsor	39
3.3.2 Sistema de alimentación del sistema propulsor	49
Capítulo 4 – Plano vélico y aparejo	51
4.1 Introducción	52
4.1.1 Velamen	52
4.1.2 Aparejo	57
4.1.2.1 Jarcia firme	57
4.1.2.2 Jarcia en diamante	60
4.1.2.3 Violines	61
4.2 Cargas en la jarcia.....	62
4.2.1 Cargas transversales.....	62
4.2.2 Cargas longitudinales	67
4.2.3 Selección de la jarcia firme.....	68
4.3 Diseño del mástil	71
4.3.1 Momento transversal del mástil	71
4.3.2 Momento longitudinal del mástil.....	72
4.4 Diseño de la botavara.....	76
4.5 Diseño de las crucetas.....	78
4.6 Limitaciones de la norma “ <i>Universal Rule</i> ”	81
Capítulo 5 – Apéndices.....	84
5.1 Diseño del timón	85
Capítulo 6 – Sistemas auxiliares	92
6.1 Introducción	93
6.2 Elementos de seguridad mínimos	94
6.3 Conclusión	97
Capítulo 7 – Escantillonado	98
7.1 Introducción	99
7.2 Clara de cuadernas	100
7.3 Escantillonado de cuadernas.....	100

7.4 Escantillonado de la varenga.....	103
7.5 Escantillonado de la quilla.....	104
7.6 Escantillonado del palmejar	106
7.7 Escantillonado de los durmientes	107
7.8 Escantillonado de baos de cubierta	108
Capítulo 8 – Disposición general	110
8.1 Introducción	111
8.2 Disposición de los elementos interiores	111
8.2.1 Sección de popa	111
8.2.2 Sección central	111
8.3 Disposición de los elementos en cubierta.....	112
8.3.1 Cubierta.....	112
8.3.2 Nicho	112
8.4 Disposición de los elementos de maniobra principales	113
8.4.1 Escotero de la mayor.....	113
8.4.2 Tensor del contraestay.....	113
8.4.3 Drizas de la vela mayor y vela de proa.....	113
8.4.4 Escotero de la genova	113
Capítulo 9 – Calculo de pesos y estudio de estabilidad	114
9.1 Introducción	115
9.2 Consideraciones iniciales	116
9.2.1 Elementos estructurales.....	116
9.2.2 Equipos y armamento	116
9.2.3 Peso muerto	117
9.2.4 Evaluación de los pesos.....	117
9.3 Listado de pesos	117
9.4 Condiciones de carga	124
9.4.1 Condición de embarcación en rosca	125
9.4.2 Condición de embarcación en carga mínima operativa.....	125
9.4.3 Condición de embarcación en máxima carga	126
9.5 Centros de gravedad	126
9.5.1 Centro de gravedad en embarcación en rosca	127
9.5.2 Centro de gravedad en carga mínima operativa.....	127
9.5.3 Centro de gravedad en máxima carga	127

Capítulo 10 – Estudio de estabilidad	128
10.1 Introducción	129
10.2 Equilibrio hidrostático	130
10.2.1 Equilibrio hidrostático en condición en rosca	130
10.2.2 Equilibrio hidrostático en condición mínima operativa	131
10.2.3 Equilibrio hidrostático en condición carga máxima	132
10.3 Estabilidad	133
10.3.1 Estabilidad en condición en rosca	133
10.3.2 Estabilidad en condición en condición mínima operativa	135
10.3.3 Estabilidad en condición en condición máxima carga.....	137
10.4 Hidrostática	139
10.5 Curvas KN	141
10.6 Criterios de estabilidad	143
Capítulo 11 – Estudio de la posibilidad de cumplimiento de la Norma actual	145
11.1 Introducción	146
11.2 Cubiertas o protecciones	147
11.3 Aberturas inundables	148
11.4 Altura de inundación	152
11.5 Ensayo de recuperación tras el hundimiento	153
11.6 Ensayo de resistencia al viento	154
11.7 Detección y achique del agua.....	157
11.8 Estudio de la Norma con pesos proporcionados	159
11.7.1 Cubiertas o protecciones.....	159
11.7.2 Aberturas inundables	159
11.7.3 Ensayo de resistencia al viento	159
11.7.4 Detección y achique del agua.....	161
11.8 Conclusiones.....	161
Capítulo 12 – Bibliografía empleada	163
Bibliografía	164

Índice de figuras

Ilustración 1. Espiral de diseño (Arquitectura Buque, 2011)	9
Ilustración 2. Plano de formas y plano velico de la embarcación en 1926 y su modificación en 1930 (The Model Shipwright, 2021).....	14
Ilustración 3. Plano de formas (The Model Shipwright, 2021).....	17
Ilustración 4. Nube de puntos e imagen de fondo.....	19
Ilustración 5. Datos para la generación de la rejilla que generará las curvas	20
Ilustración 6. Ejemplo de la falta de precisión en el plano original.	21
Ilustración 7. Comprobación de las curvas de la embarcación con el plano original como referencia.	22
Ilustración 8 Ejemplo de fuera borda desmontable (Torqueedo, 2021).....	31
Ilustración 9 Ejemplo de motor sumergible (Kraeutler, 2021)	33
Ilustración 10. Ejemplo de saildrive (Kraeutler, 2021)	36
Ilustración 11. Curva resistencia-velocidad.....	41
Ilustración 12. Curva potencia-velocidad.....	42
Ilustración 13. Modelos de motor sumergible seleccionados (Piktronik, 2021).....	46
Ilustración 14. Solución completa para un motor de 1kW. (Piktronik, 2021).....	48
Ilustración 15. Disposición del motor.....	50
Ilustración 16. Vela mayor estilo bermuda. (Nautical dictionary, 2021)	53
Ilustración 17. Dimensiones principales de las velas. (ISO 8666, 2016)	54
Ilustración 18. Definición HA. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000).....	57
Ilustración 19. Ejemplo de chubasquera en la reconstrucción del R-11 (The R Class Racing Sloop Directory, 2021)	59
Ilustración 20. Ejemplo de los tipos de aprejo. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)	60
Ilustración 21. Ejemplo de violines. (Asociación Argentina Clase Grumete, 2021)	61
Ilustración 22. Definición jarcia firme, lateral.....	62
Ilustración 23. Definición jarcia firme, frontal	62
Ilustración 24. Diagrama datos principales. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)	63
Ilustración 25. Diagrama datos principales 2. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)	64
Ilustración 26. Diagrama de las fuerzas máximas en el aparejo M-1/F-1. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000).....	65
Ilustración 27. Diagrama parámetros en los obenques. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)	66
Ilustración 28. Diagrama disposición longitudinal de la jarcia firme. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000).....	67
Ilustración 29. Datos del fabricante, correspondiente a cable de acero inoxidable. (Cables estructurales, 2021)	70
Ilustración 30. Mástil construido mediante pico de pájaro. (Fondear, 2021).....	71
Ilustración 31. Diagrama parámetros mástil. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000).....	72
Ilustración 32. Parámetros en la perilla. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)	75
Ilustración 33. Dimensionamiento de la botavara (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)	76
Ilustración 34. Detalle del timón. (The Model Shipwright, 2021).....	85
Ilustración 35. Tipos de timón según la Norma. (ISO 12215-5, 2008)	86
Ilustración 36. Diagrama del parámetro I para cuadernas en S. (Det Norske Veritas , 1971) ..	101

Ilustración 37. Figura 6A. (Det Norske Veritas , 1971)	102
Ilustración 38. Diagrama parámetro I.	104
Ilustración 39. Diagrama de los parámetros presentes en la roda. (Det Norske Veritas , 1971)	105
Ilustración 40. Diagrama aclaratorio del parámetro d.....	107
Ilustración 41. Curva de brazos adrizantes.	134
Ilustración 42. Curva de área seccional.....	134
Ilustración 43. Curva de brazos adrizante	136
Ilustración 44. Curva de área seccional.....	136
Ilustración 45. Curva de brazos adrizantes.	138
Ilustración 46. Curva de área seccional.....	138
Ilustración 47. Curvas hidrostáticas.	140
Ilustración 48. Curvas KN.	141
Ilustración 49. Ángulo de inmersión.	142
Ilustración 50. Límites de áreas I y IIb. (ISO 12216, 2002)	149
Ilustración 51. Altura requerida de inundación. (ISO 12217-2, 2015).	152
Ilustración 52. Curva GZ obtenida para el ensayo de recuperación tras el hundimiento.....	153
Ilustración 53. Señal de seguridad del arizado de las velas. (ISO 12217-2, 2015).....	155
Ilustración 54. Curva de momento escorante y adrizante.	156
Ilustración 55. Curva de momentos escorantes y adrizantes a velocidad máxima.	157
Ilustración 56. Curva de momentos escorantes y adrizantes con pesos proporcionados.....	160

Índice de tablas

Tabla 1. Valores de los puntos clave del plano de formas	18
Tabla 2. Parámetros mínimos y máximo para aplicar series Delf.	40
Tabla 3. Potencia y resistencia a partir de la velocidad	42
Tabla 4. Estimación de potencia suministrada para un motor de N=1200 rpm	45
Tabla 5. Estimación de potencia suministrada para un motor de N=1100 rpm	47
Tabla 6. Fuerzas máximas en el aparejo. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)	65
Tabla 7. Carga de diseño de la jarcia firme.	69
Tabla 8. Diámetros de la jarcia firme.	70
Tabla 9. Posibles radios del mástil en el Tramo 1.	74
Tabla 10. Área correspondiente a cada par de diámetros.....	74
Tabla 11. Posibles radios del mástil en el Tramo 2.	75
Tabla 12. Posibles medidas de la botavara	78
Tabla 13. Posibles diámetros para la cruceta a mitad de longitud.	80
Tabla 14. Posibles diámetros para la cruceta en la zona próxima al mástil.....	80
Tabla 15. Propiedades estimadas en aleación de cobre. (ISO 12215-8, 2009)	88
Tabla 16. Valor parámetro f según la madera. (Det Norske Veritas , 1971)	99
Tabla 17. Resultados del escantillonado de la cuaderna.	102
Tabla 18. Valores del escantillonado del bao de cubierta.	109
Tabla 19. Distribución de pesos, superficie del forro y cubierta.....	118
Tabla 20. Distribución de pesos, cuadernas.....	119
Tabla 21. Distribución de pesos, baos.....	120

Tabla 22. Distribución de pesos, durmientes	121
Tabla 23. Distribución de pesos, quilla corrida.	122
Tabla 24. Distribución de pesos, longitudinales de cubierta.	122
Tabla 25. Distribución de pesos, equipo propulsor y de gobierno.	122
Tabla 26. Distribución de pesos, equipo de fondeo.....	123
Tabla 27. Distribución de pesos, aparejo.	123
Tabla 28. Distribución de pesos, jarcia.....	123
Tabla 29. Distribución de pesos, velamen.....	124
Tabla 30. Distribución de pesos, habitabilidad.	124
Tabla 31. Distribución de pesos, peso muerto.....	124
Tabla 32. Condición de embarcación en rosca.....	125
Tabla 33. Condición de carga mínima operativa.....	126
Tabla 34. Condición de máxima carga.....	126
Tabla 35. Centro de gravedad en condición de rosca.	127
Tabla 36. Centro de gravedad en condición de carga mínima operativa.	127
Tabla 37. Centro de gravedad en condición de máxima carga.	127
Tabla 38. Requisitos del ángulo de inundación.....	143
Tabla 39. Requisitos a aplicar en embarcaciones a vela monocasco. (ISO 12217-2, 2015).....	146
Tabla 40. Grado mínimo de estanqueidad. (ISO 12216, 2002).	151
Tabla 41. Momento escorante.....	155
Tabla 42. Momento adrizante.....	155
Tabla 43. Momento escorante a velocidad a máxima.	156
Tabla 44. Momento adrizante a velocidad a máxima.	156
Tabla 45. Momentos escorantes con pesos proporcionados.	160
Tabla 46. Momentos adrizantes con pesos proporcionados.	160

Introducción al Proyecto

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

El proyecto presentado en el presente trabajo de fin de grado consiste en la reconstrucción histórica de la embarcación de clase R, una embarcación propulsada a vela con una eslora de 60 pies, diseñada en 1920. El objetivo es comprobar si la embarcación puede cumplir la normativa actual, actualizando para ello los sistemas a bordo, pero manteniendo el espíritu de este velero dedicado íntegramente a regatas.

Antes de comenzar es importante definir el tipo de embarcación y el uso que se le dará a lo largo de su vida útil, así como las características particulares de esta embarcación.

Se trataba de una embarcación dedicada casi en exclusiva a la competición de regatas, donde prima la funcionalidad frente a la comodidad. Disponiendo de una espacio dedicado a la habitabilidad mínimo bajo cubierta, con unos pequeños bancos donde poder descansar y un espacio libre para dejar los pertrechos.

Como parte de este proyecto se le proporcionará un medio de propulsión mecánica, con el fin de efectuar las maniobras de puerto, ya que el diseño original no dispone de ningún medio propulsión aparte de la propia vela.

Para el desarrollo de este proyecto, se seguirá el uso normal de la espiral de diseño (ver Ilustración 1. Espiral de diseño), pero al tratarse de una modificación de un diseño ya consolidado durante un siglo de uso se partirá de los datos de la embarcación ya diseñada, y se le aplicará los pasos a seguir en la espiral de diseño con el objetivo de añadir modificaciones para cumplir el objetivo de adaptarlo al siglo XXI y disponer de propulsión autónoma. Pero manteniendo el espíritu de un buque de regatas.

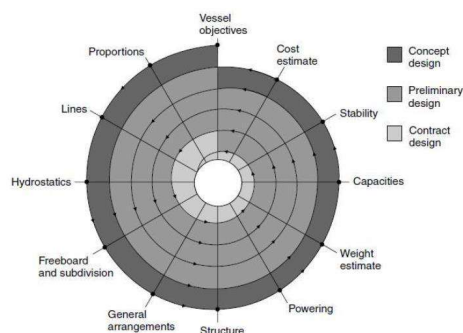


Ilustración 1. Espiral de diseño (Arquitectura Buque, 2011)

Cabe destacar que en dichos proyectos durante su construcción en el astillero puede ser necesario modificaciones durante la construcción y una vez realizada la botadura, en especial en barcos de construcción de madera. Donde debido a la naturaleza orgánica de la madera, su densidad no es tan uniforme como el acero y pueden aparecer distribuciones algo desiguales de pesos, que se solucionarían una vez botada la embarcación.

Capítulo 1 – Reseña histórica

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

El R-boat Pirate fue construido en 1926 por la empresa Union Dry Dock en Seattle (EEUU), a partir del diseño del arquitecto naval Leslie Geary. Se le considera uno de los barcos de clase R más rápidos.

La clase R consiste en una clase de diseño muy popular durante 1920 y 1930 en Estados Unidos, *The Universal Rule Class "R"*, no consistía en una clase de diseño único, sino una formula aplicable a cualquier embarcación, dicha regla era la siguiente:

$$R = \frac{18L \times \sqrt{SA}}{3 \times \sqrt{D}}$$

Donde R= Rating, L= Formula siguiente, SA= Área de vela y D= Desplazamiento

$$L = L_{WL} + 5 \times \left(q_{BL} - \frac{100 - \sqrt{L_{WL}}}{100} \times L_{WL} \right)$$

Donde L_{WL} = eslora de flotación, q_{BL} = eslora medida en un cuarto de la manga máxima excluyendo el forro.

Dicha fórmula era aplicable a cualquier tamaño de yate, calcificándose según una letra, siendo para la clase R un Rating entre 17-20.

Debido a la popularización del diseño en la mayoría de las áreas de navegación de los Estados Unidos, hubo gran variedad de diseños, por ejemplo, en San Francisco llegaron a existir 13 embarcaciones de regatas locales con 7 diseñadores diferentes. Esto condujo a una gran competencia entre los diseñadores y constructores para obtener el mejor diseño posible, siendo uno de los diseños más exitosos el R11-Pirate.

La popularización de este tipo de regatas fue apartando de forma progresiva las competiciones de embarcaciones con diseños clásicos, generando con el paso del tiempo un estilo de embarcación propio.

Centrándonos en el diseño en cuestión, se trata de una embarcación de estilo Sloop, una embarcación similar al tipo cúter, con un único palo dispuesto en una posición avanzada se compara con este último. En cuanto a su aparejo suele portar una vela cangreja o marconi como mayor, y en cuanto a la vela en proa suele envergarse un foque o genova.

En un principio el diseño del R11-Pirate disponía de una vela mayor bermudina, o marconi, y un foque en proa. Pero en 1932 se rediseño el aparejo para disponer en proa de una Génova, con el objetivo de ganar más superficie velica sin modificar de cara a la normativa dicha superficie, dado que no tiene en cuenta la superficie real sino una relación de parámetros que no tiene en cuentas las medidas reales sino la altura y base del triángulo de proa y la vela mayor.

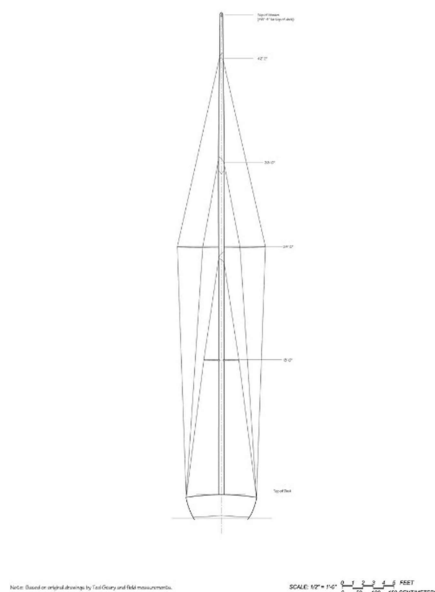
Para esta modificación se incrementó la altura total del triángulo de proa de 31' a 35'-4", manteniendo la base del triángulo en 10'. Para compensar este aumento de la altura del triángulo de proa, se redujo en 14" la altura de la vela mayor. Consiguiendo un importante aumento de la superficie velica real, pero manteniendo la superficie velica empleada para clasificar la embarcación.

Para disponer esta configuración se modificaron elementos del aparejo, como las crucetas, las cuales se elevaron de su posición original y de los dos pares de crucetas que disponía el diseño original para la fijación de los obenques. Solamente el par inferior mantuvo esta función, quedando el par superior con la función de generar un esfuerzo de compresión cuando el extremo del mástil cae hacia una banda u otra. Esto se consigue mediante un aparejo en forma de diamante, *Diamond Rig*, cuya función es dar rigidez al palo en sentido transversal en los puntos superiores del mástil con el objetivo de soportar las fuerzas generadas por la Génova, con lo que las crucetas superiores pasaron a considerarse violines.

Adicionalmente se añadieron dos violines en proa del mástil, el superior tiene como función dar rigidez longitudinal al mástil formando una un aparejo de medio diamante. Provocando un esfuerzo de compresión en el mástil cuando el extremo superior de este cae hacia popa.

En cuanto al violín inferior tiene como función proporcionar una cierta rigidez longitudinal al mástil mediante la compresión generada por el estay de proa.

Otra adición es el tangón dispuesto en popa, y el contraestay al cual da un punto de anclaje. A continuación, la Ilustración 2. Plano de formas y plano velico de la embarcación en 1926 y su modificación en 1930 se mostrarán imágenes con los cambios ocasionados.



The "Diamond Rig"

1920s. To prepare the boat for most common racing, Ted Clary had the engine and propeller shaft removed and redesigned the boat's hull and rigging plan. A more complex rig would allow the use of better canvas (jibs) attached closer to the masthead. This was particularly known as the "Diamond Rig" by the sailors of the time. The propeller was moved to a point just aft of the masthead, the engine and the shaft. The rig's attachment point of the upper shrouds was moved down to the Kenney connection, a set of diamond stays. The main length to the shrouds was added at the same place. To correct to head sea and all, a pump-out was used from the stern to the head sea and a smaller pump-out was added on the stern side of the stern. The diamond rig's height (P2) was increased from 3' to 3'4" while the base (P1) was kept at 3'. This increased the head sea and the pump-out was added at the stern to stick a stumpy lockers. This brought the overall length of the boat to 4'7". The saildrum added was also added to the end of the boom, just aft of the stern, within the larger jib.

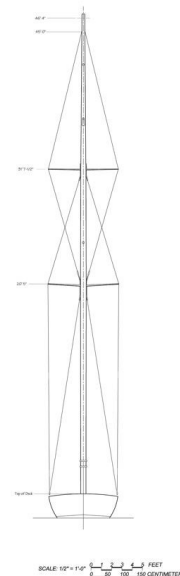


Ilustración 2. Plano de formas y plano velico de la embarcación en 1926 y su modificación en 1930 (The Model Shipwright, 2021)

Capítulo 2 – Dimensionamiento

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate

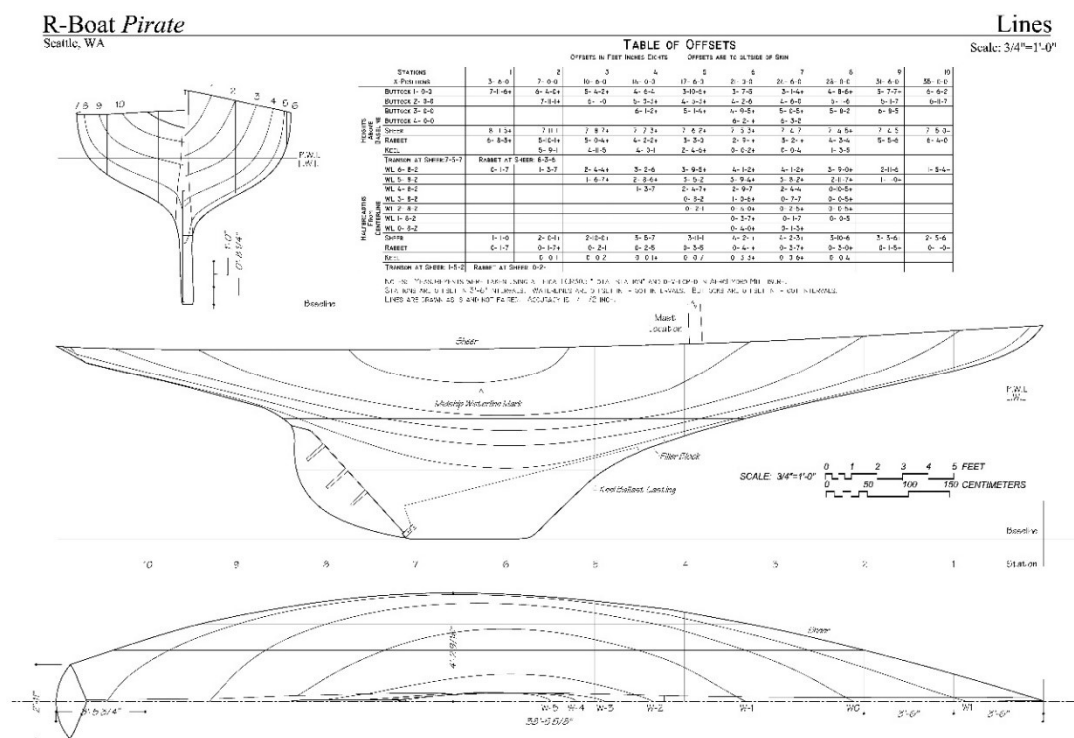


Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

2.1 Introducción

En este primer capítulo se procederá a describir las principales medidas de la embarcación, para tal fin se acudirá a la (ISO 8666, 2016) para marcar aquellas medidas que nos serán de importancia en posteriores pasos. El objetivo de esta Norma consiste en definir de forma clara y concisa las dimensiones principales, así como los datos relacionados y las condiciones de carga, el rango de aplicación de dicha Norma se restringe a embarcaciones con una eslora inferior a 24m.

Como documentación base para este proyecto se dispone del siguiente plano de formas, la Ilustración 3. Plano de formas muestra el material disponible.



Se presenta el ligero inconveniente de emplear unidades de medida inglesas, que pueden hacer su lectura un poco farragosa al ser el uso de pies-pulgadas-fracción de pulgada ajeno para nosotros. Para hacerlo más comprensible, la Tabla 1. Valores de los puntos clave del plano de formas con las medidas en S.I.:

Tabla 1. Valores de los puntos clave del plano de formas

Posición en el eje x			1	2	3	4	5	6	7
			1,067	2,134	3,200	4,267	5,334	6,401	7,468
Altura desde la línea base	Longitudinal 1	0,305	2,432	1,930	1,632	1,384	1,187	1,108	1,207
	Longitudinal 2	0,610		2,416	1,854	1,534	1,356	1,289	1,372
	Longitudinal 3	0,914				1,861	1,562	1,464	1,540
	Longitudinal 4	1,219						1,883	1,911
	Cubierta		2,480	2,416	2,359	2,321	2,292	2,270	2,257
	Alefriz		2,042	1,781	1,537	1,276	0,991	0,841	0,968
	Quilla			1,756	1,514	1,222	0,730	0,006	0,013
	Union espejo-cubierta		2,283	Union alefriz - cubierta				2,534	
Semimangas desde la crujía	L agua 7	2,038	0,048	0,403	0,724	0,984	1,159	1,251	1,251
	L agua 6	1,734			0,479	0,832	1,051	1,156	1,124
	L agua 5	1,429				0,403	0,733	0,860	0,724
	L agua 4	1,124					0,210	0,324	0,200
	L agua 3	0,819					0,054	0,102	0,067
	L agua 2	0,514						0,098	0,048
	L agua 1	0,210						0,102	0,035
	Cubierta	0,000	0,330	0,613	0,864	1,064	1,197	1,273	1,280
	Alefriz		0,048	0,048	0,054	0,067	0,092	0,105	0,098
	Quilla			0,003	0,006	0,003	0,022	0,086	0,019
	Union espejo-cubierta		0,438	Union alefriz- cubierta				0,054	

Al ser una reconstrucción histórica de un modelo tan exitoso, no se modificará ninguna forma a menos que sea necesario para satisfacer algún requisito de la Norma ISO pertinente.

Así mismo, todo sistema que se deba instalar a bordo que no constase en el modelo original, se instalará primando dicha instalación para que no interfiera con la reconstrucción histórica. Se dará prioridad a este frente a otros factores como eficiencia o costes; siempre que este en un rango aceptable.

Con estos datos se procede mediante el empleo de Software, en este caso *Maxsurf Modeller*, a la generación de las formas del casco. Dichas formas se obtuvieron creando una nube de puntos (Ver

Ilustración 4. Nube de puntos e imagen de fondo) correspondiente a los valores de la Tabla 1. Valores de los puntos clave del plano de formas e importando como imagen de fondo los planos de formas para comprobar más adelante si las diferentes curvas, obtenidas a través de la nube de puntos, corresponden con las curvas del plano original. A partir de estas curvas se crea una superficie estimada que se irá modificando, creando diferentes puntos de control allí donde sea necesario para ajustar las formas del casco a las del diseño original.

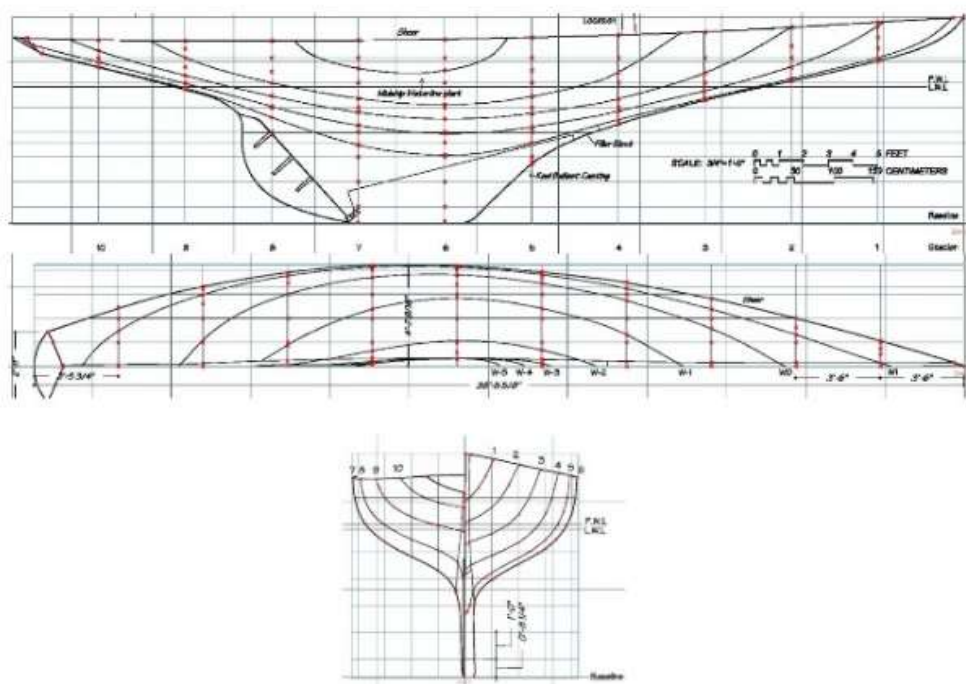


Ilustración 4. Nube de puntos e imagen de fondo

Hay que aclarar que se generaron diferentes superficies que más tarde se unificarán, para simplificar la creación de la superficie en las zonas más complejas. Esto ocurre debido a las curvas complejas que se originan en las diferentes secciones en la obra viva. En especial en los puntos cercanos a la unión entre el costado y la quilla corrida, donde exceptuando las secciones situadas a más a proa o popa donde las curvas son más suaves, en la sección central nos encontramos curvas que complican o hacen inviable la generación del casco a partir de una única superficie. Otros dos puntos conflictivos debido a sus formas

complejas son la parte inferior de la quilla y el espejo. En concreto se generaron:

- Una superficie para el costado, comprendida entre alefriz (la intersección del casco-quilla), el espejo y la cubierta. Que formará el costado de la embarcación.
- Una superficie desde el alefriz hasta la zona horizontal de la quilla en sentido vertical y limitado en sentido horizontal con la parte inferior del espejo y en proa por la roda. Para formar la quilla alargada característica de los veleros de esa época.
- Una superficie que formará la zona casi horizontal de la quilla.
- Y por último una superficie que formará el espejo de la embarcación.

Las superficies creadas a partir de estas curvas poseen una precisión pésima, pero proporcionan una pequeña ayuda para la creación de las formas finales. Las cuales se obtienen moviendo, creando y borrando los puntos de control de la superficie anteriormente creada, buscando ajustar las curvas (Secciones transversales, longitudinales y líneas de agua) formadas con la intersección de los diferentes planos con la superficie generada (ver Ilustración 5. Datos para la generación de la rejilla que generará las curvas), hasta ajustar las curvas y por tanto la superficie a las formas mostradas en el plano.

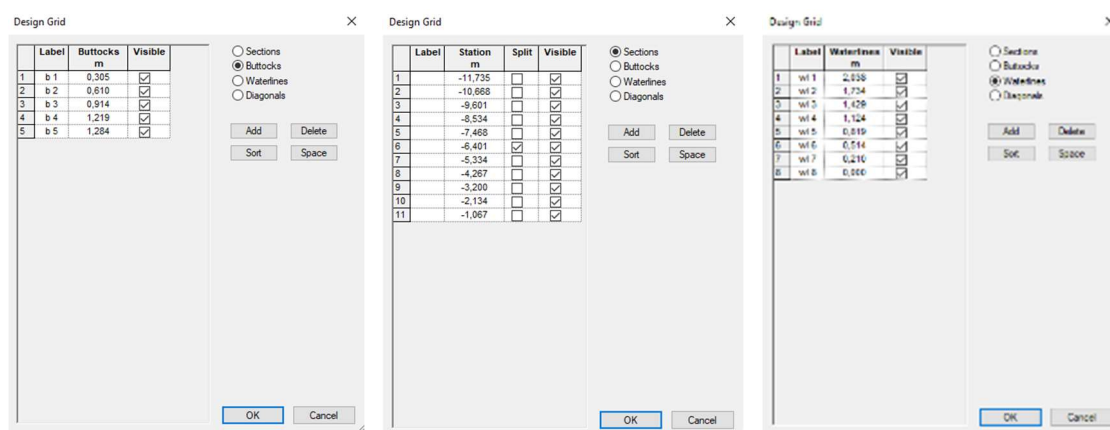


Ilustración 5. Datos para la generación de la rejilla que generará las curvas

Debido a varias zonas en el plano original con una baja precisión en su trazado (ver Ilustración 6. Ejemplo de la falta de precisión en el plano original.) donde la intersección con el plano de crujía en las líneas de agua 4 y 5 no coinciden en las vistas en planta con la vista en perfil. Por tanto, es

imposible adaptarla perfectamente, por lo que se obtiene una forma lo más precisa posible dentro de esta imprecisión.

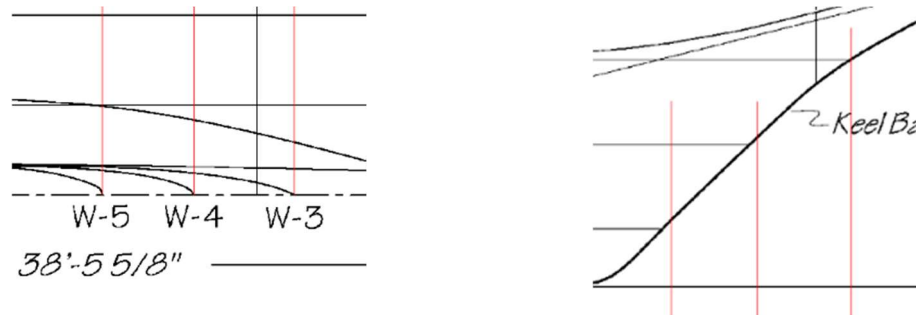


Ilustración 6. Ejemplo de la falta de precisión en el plano original.

Una posible explicación para esta falta de precisión se deba al uso de la técnica tradicional del junquillo, que no hace uso de una precisión extrema en las curvas sino en los puntos concretos, es decir en los valores de la Tabla 1. Esto explicaría porque algunas curvas parecen estar trazadas de forma vaga a mano alzada, o incluso no finalizar dicha curva.

Una vez generada la superficie del casco y alisada para evitar cualquier discontinuidad, se unifican en tres grandes superficies. Siendo dos de estas el casco y espejo, las cuales no se unifican para facilitar su manejo posterior. Además, se genera la superficie correspondiente al timón.

A continuación, se muestra en la Ilustración 7. Comprobación de las curvas de la embarcación con el plano original como referencia. la superficie obtenida y las diferentes curvas de apoyo siendo estudiadas en su correspondiente vista con el objetivo de comprobar si las formas de casco son correctas respecto el diseño original.

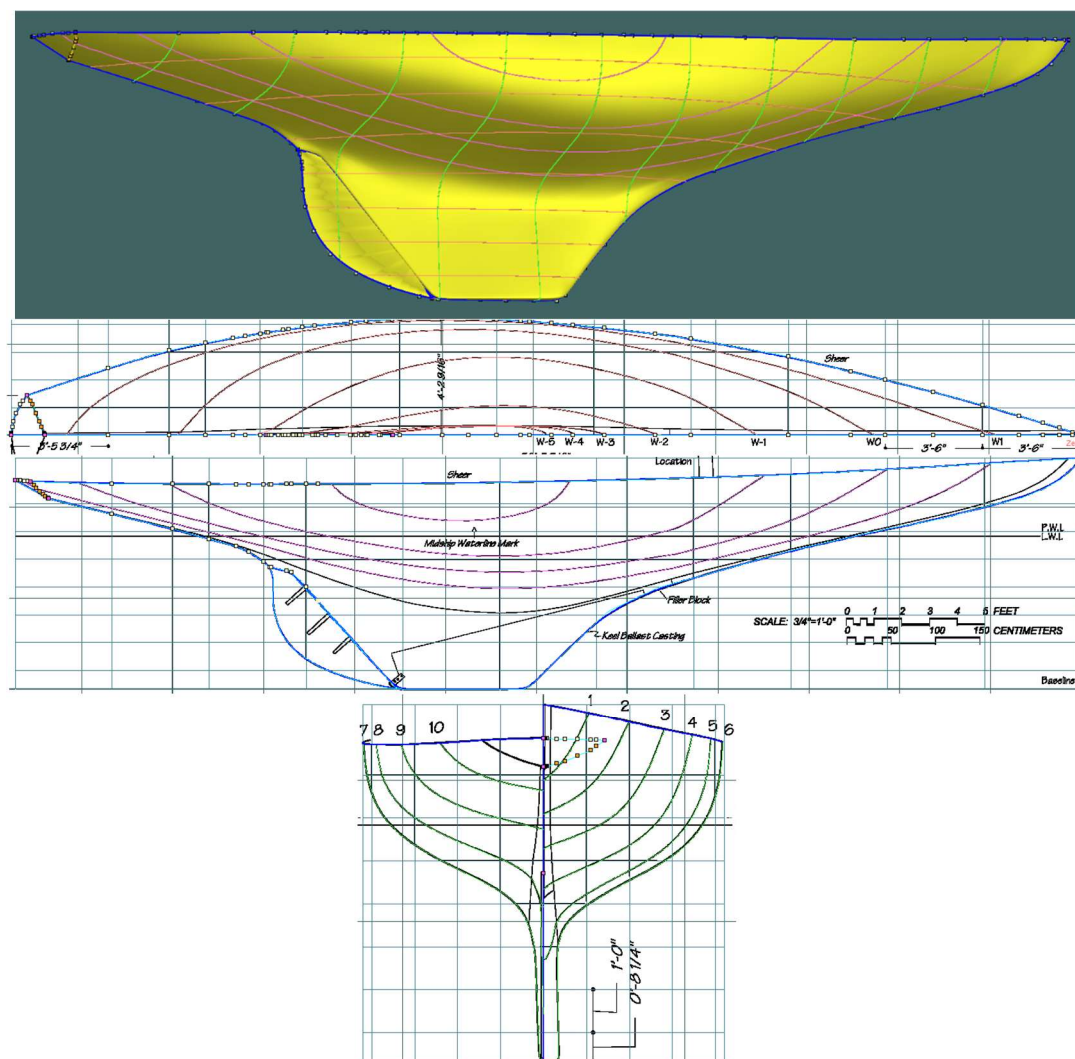


Ilustración 7. Comprobación de las curvas de la embarcación con el plano original como referencia.

A partir de esta superficie se puede acudir a *Maxsurf Stability* así como a *Rhinoceros*, cuando se deba medir directamente un elemento. Es decir, para obtener medidas directas como puede ser la eslora total, se acude a *Rhinoceros*, y para medidas que dependen de otro parámetro como puede ser el calado, es mucho más versátil *Maxsurf*.

Para obtener las dimensiones principales se ha de tener en cuenta los pesos que se han de añadir en dicha embarcación. En este caso se trata del sistema de propulsión, que se describirá más adelante en Capítulo 3. Se ha de añadir un peso total de 144.6 kg, que incluye tanto el motor como el sistema de baterías que lo alimenta. Este peso añadido se debe, a que el desplazamiento que disponemos como dato base, no incluye ningún sistema de propulsión aparte de la vela.

2.2 Dimensionamiento

2.2.1 Eslora máxima $L_{m\acute{a}x}$

Esta eslora comprende todos los elementos estructurales de la embarcación. Incluyendo todo elemento que normalmente este fijado al casco, debajo excluidos los elementos como motores fueraborda si los hubiera y todo elemento que pueda desmontarse sin el empleo de herramientas.

$$L_{m\acute{a}x} = 12.205 \text{ m}$$

2.2.2 Eslora del casco L_H

Se trata de la eslora que excluye todo elemento móvil o que se pueda desmontar de forma no destructiva, es decir sin afectar estructuralmente a la embarcación. En esta condición se ve recortada en popa eliminando el tangón de mesana (soporte horizontal dispuesto en cubierta del contraestay).

$$L_H = 11.735 \text{ m}$$

2.2.3 Eslora de flotación L_{WL}

Se trata de la eslora a una condición de carga dada, con su correspondiente asiento de diseño. Dicha eslora se mide como la separación de dos planos, trazando un plano por la intersección de la roda con un plano de flotación, y el otro plano por la intersección en popa del casco en crujía con dicho plano de flotación.

$$L_{WL} = 7.619 \text{ m}$$

2.2.4 Manga máxima y manga del casco $B_{m\acute{a}x}$ y B_H

La manga máxima consiste en la distancia entre dos planos tangentes dispuestos en los puntos más alejados de crujía de la embarcación, incluyendo todo elemento o parte estructural que forme parte integral de la embarcación, mientras que la manga del casco

excluye todo elemento que pueda desmontarse de forma no destructiva. En este caso coincide la manga máxima con la manga del casco

$$B_{m\acute{a}x} = B_H = 2.568 \text{ m}$$

2.2.5 Manga en flotación B_{WL}

Consiste en la manga obtenida de la intersección de la superficie del casco con un plano de flotación dado.

$$B_{WL} = 2.381 \text{ m}$$

2.2.6 Puntal máximo, $D_{m\acute{a}x}$

Se trata como la distancia vertical entre la línea de cubierta dispuesta en mitad de la eslora de flotación y el punto más bajo de la quilla.

$$D_{m\acute{a}x} = 2.278 \text{ m}$$

2.2.7 Puntal en la mitad de la eslora, $D_{\frac{LWL}{2}}$

Puntal medido en la mitad de la eslora de flotación entre la cubierta y quilla en ese punto.

$$D_{\frac{LWL}{2}} = 2.245 \text{ m}$$

2.2.8 Francobordo en la mitad de la eslora, F_H

Se mide como la distancia vertical entre la línea de cubierta en la mitad de la eslora de flotación y el plano de flotación en una condición de carga dada.

$$F_M = 0.549 \text{ m}$$

2.2.9 Calado máximo, calado mínimo y calado del cuerpo de la embarcación $T_{m\acute{a}x}$, $T_{m\acute{i}n}$ y T_c

En este caso ambos calados coinciden, al no disponer de ningún apéndice u orza que se despliegue aumentando el calado. Por lo tanto, el calado en la condición de rosca (5.066 t) es:

$$T = 1.729 \text{ m}$$

2.2.10 Calado en condición de carga máxima

El calado depende del desplazamiento de la embarcación, por lo tanto, si en la condición anterior nos encontramos con el calado correspondiente a la condición de carga en rosca, en esta condición de carga con un desplazamiento diferente (5.566 t), dispondremos de otro calado, siendo:

$$T = 1.765 \text{ m}$$

Por lo tanto, existirá un calado diferente para cada condición de carga, razón por la cual se ha de especificar en cada calado, a que desplazamiento (o condición de carga) está asociado.

2.2.11 Calado aéreo H_a

Se mide como la distancia vertical entre la línea de flotación y el punto más alto de la estructura de la embarcación, incluidos los mástiles.

$$H_a = 14.742 \text{ m}$$

2.2.12 Altura libre

Este parámetro se considera la distancia vertical existente en un espacio cerrado, medido desde la parte superior del suelo de dicho espacio y la cara inferior de la cubierta superior o techo (Tomando siempre el punto más bajo). En este apartado solo procederemos a describir el espacio que existe dentro de la cabina, donde existe una mayor altura, a los pies de la escalera de acceso tenemos una altura libre de 1.30 m, reduciéndose conforme nos acercamos a proa.

Este reducidísimo espacio es otro indicativo de la clara preferencia hacia una embarcación marinera frente a una embarcación de recreo con ciertas comodidades.

2.2.13 Superficie velica de referencia A_s

Según lo descrito en la Norma (ISO 8666, 2016) en su apartado 4.5.2, esta superficie es la suma de la superficie efectiva de toda vela dispuesta a popa de un mástil, más la superficie de las velas triangulares completamente extendidas junto el mayor perfil de todos los mástiles presentes.

En nuestro caso, tenemos una vela mayor, y una génova. Y con respecto a los palos disponemos de un palo mayor, con su respectiva botavara, obteniendo un área de:

$$A_s = 68.089$$

2.2.14 Desplazamiento

Se trata del peso del volumen de agua ocupada por la obra viva de la embarcación. Este valor se obtiene como dato medido en la embarcación original, el cual se ha modificado con los pesos añadidos de los diferentes elementos introducidos, como puede ser el motor y baterías. El desplazamiento en condición de rosca de la embarcación original, sin añadir ningún elemento, según los datos proporcionados es:

$$\Delta = 4.922 \text{ t}$$

2.2.15 Superficie mojada

Esta superficie influye directamente sobre la resistencia al avance que sufre la embarcación.

$$S_w = 21.408 m^2$$

2.2.16 Número de tripulantes

Para llegar a una conclusión, se aplicará el criterio indicado por la (ISO 14946, 2001), el cual indica dos condiciones que no se ha sobrepasar:

- Satisfacer los requisitos de francobordo, estabilidad y flotación dispuesto en la Norma (ISO 12217-2, 2015).
- O estimar dicha tripulación mediante el espacio disponible en la embarcación, disponiendo cada tripulante de un espacio mínimo de 750mmx500mm. Con lo cual en la bañera se limita a 4 personas, al disponer solo de las bandas, dejando popa inutilizada al estar dispuesta la caña del timón, y en proa al estar bloqueado por la caseta. Nos deja solo 1980mm disponibles en cada banda, teniendo en cuenta que parte de este espacio estaría también inutilizado por el movimiento de la caña del timón.

Como veremos más adelante, el segundo criterio es más restrictivo, por lo que tomaremos este valor como válido para futuros capítulos.

2.2.17 Embarcación en rosca

Cada condición de carga se obtendrá mediante los criterios dispuestos en la Norma (ISO 12217-2, 2015). La condición de embarcación en rosca consiste en el peso de la embarcación vacía más el equipo normal, descrito en el apartado 3.6.12, y lastres móviles si los hubiese.

Por ello, se añadirá el peso del sistema propulsor que se verá con más detalle en apartados posteriores, al desplazamiento de la embarcación según los datos aportados.

$$\Delta = 5.066 \text{ t}$$

2.2.18 Carga máxima

Es un añadido a la condición en rosca, los puntos a tener en consideración son:

- Tripulación máxima $75kg * persona = 300kg$
- Equipaje, en la *Nota 2* de la Norma (ISO 12217-2, 2015) se proporciona una estimación de $20 kg * persona = 80$
- Provisiones, al tratarse de una embarcación destinada a regatas cortas, realizadas en un mismo día y sin alejarse en exceso de la costa, esta partida de peso se cuenta entre el equipaje.
- Todos los depósitos permanentes llenos al 95% y tanques de lastre al 100%. No se dispone de depósitos de líquido al no disponer de un motor de combustión el cual precise de combustible, y tampoco se dispone de un lastre líquido.
- Líquidos consumibles en depósitos portátiles al 95%, sucede lo mismo que el apartado anterior.
- Balsas de salvamento, en la *Nota 1* de la Norma (ISO 12217-2, 2015) se indica que no se incluyen en embarcaciones con categoría de diseño C ni D como es nuestro caso.
- Peso de margen, un margen para tener en cuenta la masa de los equipos y accesorios opcionales no incluidos en la lista básica del constructor. Nos basaremos en la estimación descrita en (ISO 8666, 2016) en el apartado 6 basada en una formula mostrada a continuación, pero el peso así supuesto no será nunca inferior a 10 kg.

$$(L_H - 2.5)^2 = 107.516kg \approx 110kg$$

Quedándonos un desplazamiento en carga máxima según los datos proporcionados de:

$$\Delta_{Carga\ maxima} = 5.556\ t$$

Capítulo 3 – Sistema de propulsión

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

3.1 Posibles sistemas de propulsión

En este apartado se nos presenta el inconveniente de no tener ninguna guía con respecto al original, ya que no disponía de propulsión a motor, únicamente se propulsaba a vela. Pero su uso es necesario para las maniobras de puerto y para poder alcanzar un punto donde fondear si el viento amaina o en ciertas maniobras breves.

Hay que comprender que los motores en embarcaciones de recreo se dividen en dos grandes bloques, intraborda o fueraborda. Otro parámetro a tener en cuenta es el tipo de energía propulsará la embarcación, eléctrica o de combustión. En nuestro caso, se va a optar por propulsión eléctrica, por las siguientes razones:

- Permite una mayor libertad a la hora de disponer los diferentes elementos de la propulsión en diferentes posiciones para disimular su presencia lo máximo posible. Es más sencillo de camuflar el sistema de baterías que un tanque de combustible con su correspondiente aireación, ya que recordemos que el presente proyecto intentará obtener un diseño lo más fiel al original.
- La propulsión eléctrica es considerablemente más silenciosa que un motor de combustión interna, pudiendo pasar inadvertido su empleo.
- Posibilita el uso de energía con un origen de fuentes renovables, ya sea embarcadas o en puerto, como veremos más adelante, no es posible embarcadas.

Una vez se tiene claro que se desea emplear una propulsión eléctrica, se procede a la selección del sistema que se pretende emplear para la propulsión de la embarcación.

3.1.1 Motor fueraborda

Nos podremos encontrar diferentes opciones entre ellas las más importantes son, fijas o desmontables. Ambos tipos de motor fueraborda presentan una gran ventaja frente al resto de los sistemas y es su gran

sencillez a la hora de instalarse a bordo. Basta con una bancada en popa ya sea fija o abatible, y se podría instalar un motor fuera borda.

3.1.1.1 Motor fueraborda fijo

Presentan dos inconvenientes, las formas de la embarcación en popa y el francobordo en dicha posición, descartan gran parte de los modelos comerciales disponibles debido a que o bien su bancada no podría instalarse debido a las formas complejas del espejo, o directamente no disponen de suficiente longitud de eje para alcanzar el agua.

El inconveniente más grave encontrado se trata de la imposibilidad de esconder el sistema de propulsión rompiendo la estética de la embarcación de forma considerable e irremediable, por lo que se descarta esta opción.

3.1.1.2 Motor fueraborda desmontable

Debido a la posibilidad de instalarlo cuando sea preciso su uso y desmontarlo una vez finalizada su necesidad, soluciona en parte el perjuicio estético. Ya que permitiría su uso para las maniobras de puerto y su retirada una vez finalizadas estas, recuperando la estética de embarcación tradicional, dejando solo la bancada del motor. Ya que la forma de la cubierta hace imposible instalarse este tipo de motor si no se instala una superficie para dicho fin. A continuación, en la Ilustración 8 Ejemplo de fuera borda desmontable se muestra un ejemplo de motor desmontable



Ilustración 8 Ejemplo de fuera borda desmontable (Torqeedo, 2021)

Se presenta una contrapartida importante a tener en cuenta: las dimensiones de la embarcación, en particular el francobordo en popa hace inviable su instalación, ya que la mayoría de los modelos comerciales no alcanzarían el agua. Y aquellos modelos que presentan la opción de un modelo con un eje prolongado no permiten sumergir suficientemente la hélice para asegurar que siga sumergida cuando esté en funcionamiento.

Unido a esto se encuentra el inconveniente de su posición a instalar en la cubierta a la altura de los pies, por lo que habría que cargar este objeto pesado y voluminoso para colocarlo cuidadosamente en una posición extremadamente baja. Además, el único sitio para guardarlo cuando no se encuentre en uso se encuentra en la bodega, con una única abertura a la cual se accede por una escalera estrecha, lo que dificulta aún más esta maniobra.

Por último, abordamos el inconveniente del control del sistema propulsor, al estar dispuesto en cubierta y alejado del nicho donde se encuentra la tripulación de forma habitual. El uso de la caña es complicado debido a la postura que se tendría que adoptar para su empleo. Otra opción con la que cuentan casi todos los motores de una cierta potencia, el control remoto desde unos comandos que se dispondrían en el nicho cercano a la caña del propio timón. Pero esto complicaría su desmontaje o lo haría inviable como operación cotidiana, dejando a todos los efectos el motor como un motor fueraborda fijo.

Por todos estos motivos, aun cuando sería la opción más interesante debido a que no se modifica apenas la estructura o estética de forma permanente, es el sistema más económico y que tiene un mantenimiento sencillo; se descartará en el diseño final, ya que no se encuentra ningún motor con una longitud de eje suficiente.

3.1.1.3 Motor sumergible

Se trata de un caso particular de motor fueraborda, donde el motor, eje y hélice están dispuesto en un encapsulamiento que se encuentra sumergido. Podemos encontrarnos dos grandes grupos a su vez.

- Fijados a la popa de forma similar a un fueraborda convencional, que presentaría el mismo inconveniente del francobordo existente en popa, que hace poco viable la instalación.
- Atravesando el casco de forma similar a un saildrive. La particularidad de este último sistema es que no precisa un gran diámetro para atravesar el casco, sino que con unos orificios para fijarlo al casco y dar paso al cable de alimentación serían suficiente para los modelos fijos. Y para aquellos que permiten su giro, se puede sustituir al timón o emplear una bocina similar a la empleada en el timón.

Este sistema, al igual que los saildrive pueden ser fijos o girar todo el sistema, pero con un rango de giro inferior ya que el mecanismo que controla el giro suele ser del mismo tipo que el empleado para un timón, un mecanismo electrohidráulico o electromecánico, lo que proporciona un ángulo de giro máximo que oscila entre los 35-40° a cada banda. A continuación, en la Ilustración 9 Ejemplo de motor sumergible se muestra un ejemplo de motor sumergible.



Ilustración 9 Ejemplo de motor sumergible (Kraeutler, 2021)

El punto favorable que presenta este sistema es la gran facilidad que tiene para disimular el sistema de propulsión, ya que todo el sistema propulsor esta fuera del casco y completamente sumergido. Siendo así, sólo sería necesario camuflar las baterías y los dispositivos de control y seguridad.

Los puntos en contra son el precio, aunque no es tan caro como un saildrive. Además, en igualdad de condiciones es más caro que un fueraborda o un sistema de propulsión convencional.

3.1.2 Motor intraborda

En este apartado trataremos los sistemas de propulsión donde el motor se encuentra dentro de la propia embarcación y estará engranado mediante un eje a la hélice que propulsará la embarcación.

3.1.2.1 Propulsor convencional

Se trata del sistema propulsor común donde un motor situado en horizontal o con una ligera inclinación en una bancada, provoca el giro de la hélice a través de un eje engranado a una hélice la cual se encuentra al otro lado del casco, con lo cual dicho eje debe atravesar el casco. Con la particularidad que se sustituye el motor de combustión interna por un motor eléctrico.

Presenta el inconveniente que, aunque no se modifica el aspecto de la embarcación externamente, si lo hace dentro de la bodega. Ya que el ángulo que ha de tomar el eje de la hélice obliga a disponer el motor en una posición cercana al mástil, complicando así disimular su presencia.

Además, se tendría se tendría que modificar la forma del timón, realizando un aligeramiento en este para alojar la hélice y permitir su giro. Junto el hecho de tener que disponer de un eje con una longitud elevada y tener que realizar un agujero de varios metros en madera para permitir que el eje atravesase la quilla y la prolongación de esta.

Como punto a favor es el sistema que presenta una menor resistencia al avance al ser el que menor superficie expone al agua, este punto puede ser aún mayor si se dispone una hélice abatible. Además, el mantenimiento es el más sencillo y el menos propenso a averías ya que el motor, la parte más sensible se encuentra a buen resguardo en la bodega.

3.1.2.2 Propulsión a través de un eje que atraviese el casco por un costado

Se trata del mismo sistema que el anterior, pero en vez de atravesar la quilla en crujía, se atraviesa el casco en una posición cercana a crujía pero con un cierto ángulo, normalmente con un ángulo inferior a 10° . Presenta el inconveniente añadido de tener una eficiencia tan reducida que solo permite su uso para maniobras de puerto, junto con todos los inconvenientes del sistema anterior. Este hecho se debe a que la propulsión no se produce en dirección al avance sino con un cierto ángulo de salida.

Esta disposición del sistema de propulsión se ha expuesto como una mera curiosidad, ya que su uso se reduce a embarcaciones ya construidas y que, como nuestra embarcación, no dispusiesen de un sistema propulsor. Se trataría de una solución económica y sencilla si la instalación de un eje convencional no fuese posible por las formas de la embarcación o por no ser posible practicar un orificio en la quilla debido al estado de la madera o cualquier otra razón.

3.1.2.3 Saildrive

Se trata de un sistema comprimido de propulsión intraborda, donde el motor esta normalmente dispuesto o bien en vertical engranado a un eje muy corto, o en horizontal, pero en el mismo bloque donde se localiza dicho eje de reducida longitud. A continuación, se muestra un ejemplo de motor saildrive en Ilustración 10. Ejemplo de saildrive .



Ilustración 10. Ejemplo de saildrive (Kraeutler, 2021)

Dentro de este apartado nos encontramos dos modelos, uno donde la hélice esta fija y otro que puede rotar, azimutal, permitiendo maniobras imposibles para el resto de los sistemas. Y algunos fabricantes disponen de un modo de funcionamiento que permite a la hélice recargar las baterías cuando se navega a vela funcionando como una turbina, por ejemplo, el fabricante finlandés *Oceanvolt* dispone de varios modelos con dicho sistema.

Presenta dos grandes inconvenientes a la hora de ser instalados en esta embarcación. Los modelos comerciales están destinados a embarcaciones de mayor tamaño, y por tanto las dimensiones y potencia de los mismos son excesivas para esta embarcación. Y debido a las dimensiones de los refuerzos internos y las formas externas del casco, su instalación se complica enormemente.

Así como el material del cual está construido, ya que su instalación en una embarcación con las mismas características y formas, pero construido en fibra no presentaría tantos problemas, pero la clara de cuadernas es insuficiente para alojar dicho sistema en los pocos puntos donde se podría estudiar su instalación.

Y el punto en contra de mayor peso es el precio, se trata de un sistema demasiado caro para una embarcación de estas dimensiones y para el uso al cual va a ir destinado principalmente este sistema propulsor, que recordemos que maniobras de puerto. Razón por la cual se descarta como opción válida

3.1.3 Selección del sistema propulsor

Después de investigar acerca de todas las opciones presentadas y valorar sus beneficios e inconvenientes, procederemos a elegir tres sistemas aptos y discutir las razones por las cuales tomaremos la decisión de uno de ellos; aportando también las que nos lleven a descartar las otras opciones.

- Propulsión mediante fueraborda desmontable: aunque se trata de la opción que menos modifica la estructura, es la que requiere un mayor esfuerzo por parte de los usuarios y podría ser tan engorroso que se optase por no desmontarse presentando entonces el mismo gran inconveniente que un motor fueraborda fijo, romper totalmente el aspecto de embarcación clásica. Así como la dificultad de encontrar un motor con una longitud de eje suficiente.
- Propulsión convencional, es la opción que menos inconvenientes presenta a la hora de su funcionamiento y mantenimiento, después del fueraborda, ya que se dispondría el motor en la bodega sobre un asiento totalmente accesible para una inspección o mantenimiento.

Como punto en contra sería un elemento que rompería lo que debería ser una bodega sin ningún elemento aparte de los dos bancos, y habría que realizar un orificio de varios metros a lo largo en la quilla corrida. Además de modificar la forma del timón lo que empeoraría su eficacia, razón por la que se descartará, ya que modifica un elemento principal en la navegación del diseño original.

- Motor sumergible, presenta el ligero inconveniente de modificar el aspecto bajo la línea de flotación, por lo que solo se verá comprometida la cuando esté en un varadero, con lo cual es despreciable el daño estético que causa.

En contrapartidas nos encontramos el hecho de practicar una abertura para permitir el acceso para realizar mantenimientos o inspecciones al tramo superior que lo sustenta y al sistema de control de giro. Aunque como esta abertura se practica en cubierta, podría disimularse de forma sencilla mediante una

apertura estanca que continúe la dirección de la madera adyacente.

El ultimo inconveniente es que es el sistema que mayor resistencia ofrece al avance, pero debido a su pequeño tamaño y forma, podemos asumir que no supondrá un gran problema. Ya que el objetivo es una recreación histórica y no obtener una embarcación de regata pura, además puede reducirse ligeramente este inconveniente mediante el empleo de hélice retráctiles. Además, presenta la ventaja de poder girar a babor y estribor facilitando así las maniobras en puerto a bajas velocidades. Siendo este finalmente el sistema seleccionado.

3.2 Recarga mediante fuentes renovables

Antes de comenzar con el diseño del sistema propulsor, hay que apuntar que se investigó la posibilidad de obtener un sistema de recarga de baterías de una fuente renovable mediante generación a bordo, pero se presentaron los siguientes inconvenientes:

- Tanto paneles solares, turbinas eólicas como turbinas con doble función hidro-eólica, rompen totalmente la estética de una embarcación clásica.
- En cuanto a los paneles solares, no se dispone de espacio suficiente para obtener un tiempo de recarga razonable, que justifique su instalación, por lo que para salidas continuas se tendría que acudir al uso de la electricidad proporcionada en puerto. Y para recargar las baterías durante una navegación normal es inútil, ya que el tiempo de recarga es absurdamente alto para una embarcación que no dispone de medios para permitir una larga estancia a bordo.

Este inconveniente se debe al espacio reducido del que se dispone en la superestructura central de la embarcación, ya que, aunque se puede usar placas solares flexibles y que permiten poder caminar sobre ellas, se desaconseja totalmente su uso en cubierta ya que pueden ocasionar resbalones si están húmedas, algo corriente en nuestra embarcación por los rociones. Al no

poder disimularse su presencia y no disponer de un tiempo de recarga razonable se descarta su instalación.

- En cuanto a la turbina eólica se nos presenta un inconveniente similar a las placas, aquellas turbinas con un rendimiento suficiente para proporcionar unos tiempos de carga razonables tienen unas dimensiones que o bien no permiten su instalación debido a la jarcia, o rompen totalmente la estética clásica sin posibilidad ninguna ser disimulada.
- En cuanto a la hidrogenación se nos presenta el inconveniente de que los sistemas propulsivos que nos proporciona esta opción de forma habitual son los saildrive, recordemos que eran desmesuradamente caros o directamente no se podrían instalar debido al espacio requerido. Y los sistemas duales, eólico-hidráulico, tiene el mismo problema que los solares o eólicos, rompen la estética clásica totalmente.
- Otra opción sería un generador eléctrico alimentado por combustibles fósiles, pero sería incongruente con el objetivo de obtener la electricidad de una fuente renovable. Así como el objetivo de instalar una propulsión totalmente eléctrica.

Por lo tanto, debido a los grandes periodos de recarga, y el perjuicio ocasionado a la estética de la embarcación se abandonó esta idea. Finalmente se realizará la recarga de la embarcación mediante conexión a puerto.

3.3 Cálculo del sistema de propulsor

3.3.1 Predicción de la potencia necesaria y selección del sistema propulsor

Se realizará una estimación de la potencia necesaria mediante el uso de *Maxsurf Resistance*, introduciendo el casco obtenido con anterioridad y aplicando una línea de flotación correspondiente a máxima carga, siendo esta la situación que supone una mayor superficie mojada y por tanto la situación que precisará de una mayor potencia.

Se introduce el modelo diseñado previamente en *Maxsurf Modeller* en el cual se define los parámetros de referencia, perpendiculares de proa y popa, así como la línea de flotación a máxima carga. Se aplicará las series Delf, ya que se desarrollaron mediante el ensayo en canal de modelos de yate.

Primero comprobaremos si nos encontramos dentro del rango de aplicación, los valores de consulta los encontramos en la Tabla 2. Parámetros mínimos y máximo para aplicar series Delf..

Tabla 2. Parámetros mínimos y máximo para aplicar series Delf.

Parámetro	Mínimo	Máximo	Embarcación
L_{WL}/B_{WL}	2.76	5.00	3.25
L_{WL}/T_c	2.46	19.32	1.37
$L_{WL}/D_c^{1/3}$	4.34	8.50	5.97
LCB	0.0	-6.0	-5.59
C_p	0.52	0.6	0.465
F_n	0.00	0.75	

Podemos observar que cumplen todos los requisitos menos L_{WL}/T_c , esto se debe a la quilla corrida que nos proporciona un puntal desmedido en comparación con embarcaciones estilo copa américa modernos que no llevan quilla corrida, sino orza. Aplicaremos estas series sabiendo que estrictamente no debería aplicarse, suponiendo que este parámetro no desvirtuará en exceso los resultados.

Para un estudio aún más detallado se podría realizar un modelo y ser ensayado en un canal. Ya que sus formas están totalmente desfasadas y no se encuentra ningún modelo para el cual sea posible aplicar cumpliendo todos los criterios. Estas series son las más próxima nuestra embarcación, ya que aun cuando los modelos ensayados no coinciden con esta embarcación son las más cercanas, y cumple casi todos los criterios. Como resultado, se han obtenido las curvas de Resistencia-Velocidad y Potencia-Velocidad (ver ilustraciones Ilustración 11. Curva resistencia-velocidad y Ilustración 12. Curva potencia-velocidad,

respectivamente), además de su tabla de datos correspondiente (ver Tabla 3. Potencia y resistencia a partir de la velocidad).

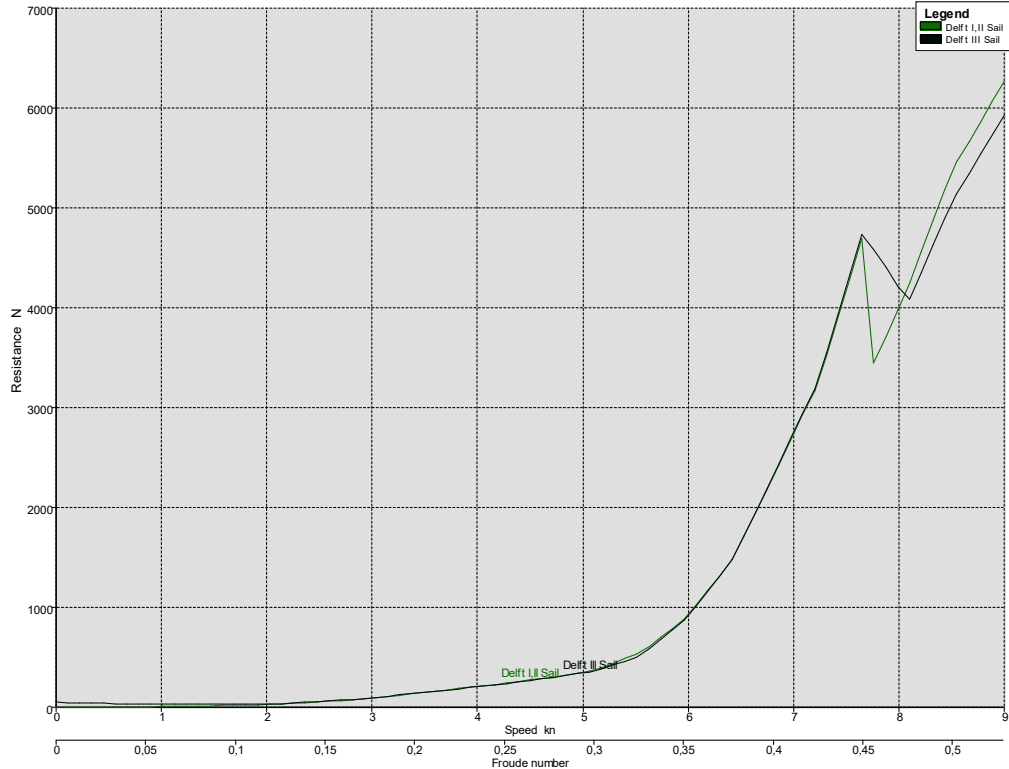


Ilustración 11. Curva resistencia-velocidad

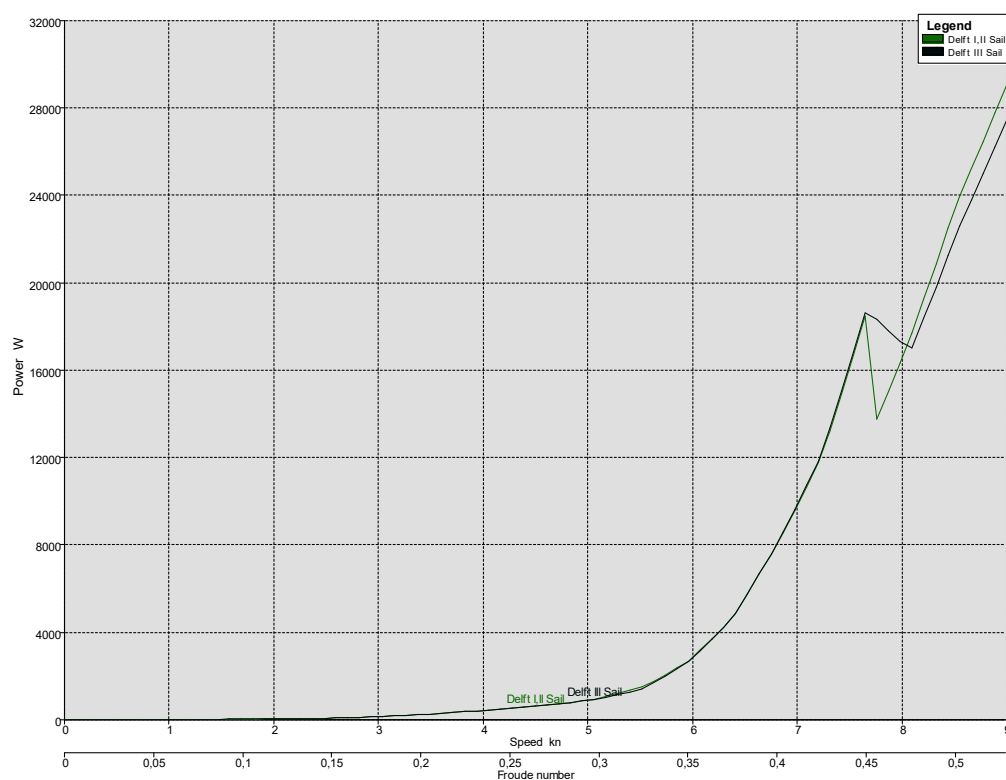


Ilustración 12. Curva potencia-velocidad

Se aprecia una discontinuidad una vez se superan los 7,5 nudos, se debe a que se ha excedido el rango operativo de la serie, al superarse el valor máximo del nº de Froud. Siendo el ultimo valor de velocidad fiable 5.8 nudos.

Tabla 3. Potencia y resistencia a partir de la velocidad

	Speed (kn)	Froude No. LWL	Froude No. Vol.	Deft I,II Sail Resist. (N)	Deft I,II Sail Power (W)	Deft III Sail Resist. (N)	Deft III Sail Power (W)
1	0,000	0,000	0,000	—	—	56,99	0,00
2	0,225	0,013	0,029	—	—	50,25	5,82
3	0,450	0,026	0,057	—	—	44,64	10,33
4	0,675	0,040	0,086	1,26	0,44	40,00	13,89
5	0,900	0,053	0,114	3,61	1,67	36,26	16,79
6	1,125	0,066	0,143	6,82	3,95	33,39	19,32
7	1,350	0,079	0,171	10,85	7,54	31,34	21,76
8	1,575	0,093	0,200	15,69	12,71	30,09	24,38
9	1,800	0,106	0,228	21,31	19,73	29,62	27,43
10	2,025	0,119	0,257	27,69	28,85	29,93	31,17
11	2,250	0,132	0,285	38,14	44,15	37,29	43,16
12	2,475	0,145	0,314	52,09	66,32	50,66	64,50
13	2,700	0,159	0,342	66,98	93,03	65,85	91,47
14	2,925	0,172	0,371	82,70	124,45	82,34	123,91
15	3,150	0,185	0,399	102,93	166,80	102,90	166,76
16	3,375	0,198	0,428	125,04	217,11	125,21	217,39
17	3,600	0,212	0,456	148,15	274,38	148,51	275,04
18	3,825	0,225	0,485	171,99	338,43	172,55	339,53
19	4,050	0,238	0,513	196,06	408,49	197,16	410,78
20	4,275	0,251	0,542	220,94	485,91	222,53	489,40
21	4,500	0,264	0,570	247,93	573,95	249,42	577,41
22	4,725	0,278	0,599	276,90	673,06	278,50	676,96
23	4,950	0,291	0,627	311,83	794,06	314,34	800,48
24	5,175	0,304	0,656	363,20	966,93	363,29	967,16
25	5,400	0,317	0,684	450,62	1251,83	440,77	1224,46
26	5,625	0,331	0,713	573,64	1659,98	562,68	1628,26
27	5,850	0,344	0,741	746,07	2245,29	746,32	2246,04
28	6,075	0,357	0,770	969,98	3031,43	974,62	3045,93
29	6,300	0,370	0,798	1240,25	4019,66	1243,14	4029,02
30	6,525	0,383	0,827	1620,04	5438,07	1620,58	5439,88
31	6,750	0,397	0,855	2062,88	7163,37	2060,73	7155,89
32	6,975	0,410	0,884	2500,78	8973,41	2493,46	8947,14
33	7,200	0,423	0,912	2937,38	10880,05	2924,04	10830,66
34	7,425	0,436	0,941	3601,35	13756,24	3581,59	13680,76
35	7,650	0,450	0,969	4304,80	16941,53	4278,54	16838,19
36	7,875	0,463	0,998	5340,26	21352,25	5336,21	21306,12
37	8,100	0,476	1,026	6811,74	28883,54	6744,51	28681,66
38	8,325	0,489	1,055	8645,40	38610,26	8614,14	38465,45
39	8,550	0,502	1,083	10848,75	51327,21	10800,60	51135,76
40	8,775	0,516	1,112	13612,62	68531,07	13555,00	68368,10
41	9,000	0,529	1,140	17070,63	89792,04	17025,82	89519,64

Para obtener la potencia estimada que se ha de instalar a bordo para navegar a una velocidad determinada, será necesario calcular el rendimiento propulsivo previamente. Para ello se nos presentan tres formular a aplicar:

Fórmula de Lap

$$\eta_D = 0.885 - 0.0012 * N * \sqrt{L_{PP}}$$

Fórmula de Parga

$$\eta_D = 0.84 - \frac{N * \sqrt{L_{PP}}}{18000} + \frac{\left(\frac{V}{C_B}\right)^2}{24000}$$

Fórmula del Canal de El Pardo

$$\eta_D = 0.943 - 0.000187 * N * \sqrt{L_{PP}} + \frac{0.023 * B}{T} - 0.2 * C_B + 0.00013 * N * C_B \sqrt{L_{PP}}$$

Tomaremos la fórmula de Parga ya que considera la velocidad a la cual se desplaza la embarcación, siendo:

- N : *Revoluciones del motor por minutos.*
- $\sqrt{L_{PP}}$: *Eslora entre perpendiculares en metros = 7.816 m*
- V : *Velocidad de la embarcación en nudos.*
- C_B : *Coeficiente de bloque de la emabración = 0.472*

Una vez se tiene claro este parámetro, se procede a obtener la potencia a instalar a partir de la siguiente ecuación.

$$BHP = \frac{EHP}{\eta_D * \eta_M}$$

Siendo

- η_M *Rendimiento mecánico de la línea de ejes = 0.97*

- EHP = *Potencia obtenidas en las series Delf I y II*

Para una primera aproximación a lo potencia requerida, supondremos unas revoluciones del motor de $N = 1200 \text{ rpm}$, ya que es un valor medio de los motores eléctricos de estas características. Más adelante se realizará una aproximación más exacta con las revoluciones correctas del motor si fuera necesario. En cuanto a la velocidad de la embarcación haremos el estudio partiendo de 1 nudo hasta 6 nudos, siendo estas velocidades las velocidades suministradas por *Maxsurf Resistance* cuando se estudió EHP.

Por lo que resolviendo las ecuaciones anteriormente presentadas obtenemos la Tabla 4. Estimación de potencia suministrada para un motor de $N=1200$ rpm, donde se remarca en rojo las valores donde el n° de Froud alcanza el máximo en el cual las series Delf no son fiables y por tanto los resultados tampoco lo son. Se aporta el valor de la potencia a instalar en W y Hp, ya que son las dos unidades comunes con las cuales se aporta la información del motor.

Tabla 4. Estimación de potencia suministrada para un motor de $N=1200$ rpm

V	EHP					BHP	
	Froud	Froud	N	W	nd	W	HP
1,000	0,059	0,127	4,930	2,540	0,654	4,005	0,005
1,200	0,071	0,152	8,070	4,980	0,654	7,852	0,011
1,400	0,082	0,177	11,860	8,540	0,654	13,462	0,018
1,600	0,094	0,203	16,270	13,400	0,654	21,120	0,028
1,800	0,106	0,228	21,310	19,730	0,654	31,091	0,042
2,000	0,118	0,253	26,950	27,730	0,654	43,687	0,059
2,200	0,129	0,279	35,140	39,770	0,655	62,641	0,084
2,400	0,141	0,304	47,360	58,470	0,655	92,071	0,123
2,600	0,153	0,329	60,220	80,550	0,655	126,803	0,170
2,800	0,165	0,355	73,880	106,420	0,655	167,476	0,224
3,000	0,176	0,380	88,580	136,710	0,655	215,073	0,288
3,200	0,188	0,405	107,790	177,440	0,656	279,051	0,374
3,400	0,200	0,431	127,540	223,090	0,656	350,711	0,470
3,600	0,212	0,456	148,150	274,380	0,656	431,170	0,578
3,800	0,223	0,481	169,310	330,980	0,656	519,894	0,697
4,000	0,235	0,507	190,650	392,320	0,657	615,971	0,826
4,200	0,247	0,532	212,480	459,090	0,657	720,468	0,966
4,400	0,259	0,557	235,850	533,860	0,657	837,397	1,123
4,600	0,270	0,583	260,130	615,590	0,658	965,102	1,294
4,800	0,282	0,608	288,470	712,320	0,658	1116,156	1,496
5,000	0,294	0,633	319,680	822,280	0,658	1287,738	1,726
5,200	0,306	0,659	372,880	997,500	0,659	1561,238	2,093
5,400	0,317	0,684	450,620	1251,830	0,659	1958,124	2,625
5,600	0,329	0,709	554,520	1597,520	0,659	2497,296	3,348
5,800	0,341	0,735	707,690	2111,600	0,660	3298,790	4,422
6,000	0,353	0,760	880,030	2716,360	0,660	4240,723	5,685

Se observa que a partir de 6 nudos el n° de Froud es demasiado alto como para considerar fiables los datos. Razón por la cual no se realizará un estudio para velocidades superiores a 5.8 nudos.

Teniendo en cuenta que la velocidad máxima dentro del área portuaria está limitado a 3 nudos, y la poca potencia que se precisa para desplazar a esta velocidad la embarcación. Podemos plantear instalar un motor con una potencia ligeramente superior para permitir maniobras a velocidades mayores como en la realización de maniobras cortas. Recordemos que las baterías a instalar estarán pensadas para las maniobras de puerto y la realización de una maniobra corta, no para navegación completa a motor.

Debido a que gran parte de los suministradores no aportaron datos suficientes como el precio o valores específicos, la selección del motor no está totalmente completada, ya que no se puede discutir la selección teniendo en cuenta el precio, resistencia al avance u otros parámetros importantes de forma precisa. Se descartaron los modelos de motores sumergibles destinados a navegación en agua dulce y breves estancia en agua marina, como los modelos de la empresa *Krätutler*, tomamos los modelos de la empresa *Piktronik*. Existiendo una gama de motores sumergibles desde 1kW hasta 10kW (ver Ilustración 13. Modelos de motor sumergible seleccionados), tomaremos la decisión entre los motores con una potencia de 1kW y 2kW. Ya que con estos dos modelos podemos cumplir un amplio rango de velocidades.

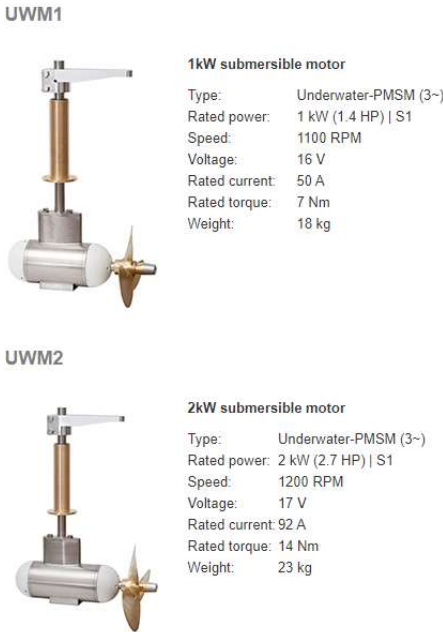


Ilustración 13. Modelos de motor sumergible seleccionados (Piktronik, 2021)

Aunque es cierto que con el segundo modelo podríamos alcanzar unas velocidades mayores, no hay que olvidar que se pretende instalar un sistema de propulsión para navegación en puerto, con velocidad de la embarcación reducida y aguas protegidas, o para maniobras puntuales en aguas protegidas como veremos más adelante. Por lo que, al poder suministrar la primera opción, 1kW, una potencia tal que permita la navegación a velocidades que supera ligeramente los 4 nudos, se aconseja instalar este modelo ya que su consumo eléctrico es casi de la mitad. Lo que nos permite a igualdad de sistema de baterías duplicar el rango operativo del motor.

Aunque la opción de un motor con 2kW nos asegura una navegación en condiciones desfavorables más veloz, se vuelve a remarcar que el objetivo de este sistema es apoyo al sistema de propulsión principal, la vela.

Comprobaremos que la variación en el régimen de giro del motor no varíe la estimación de potencia lo suficiente como para replantear la selección de este motor. Y como podemos en la Tabla 5. Estimación de potencia suministrada para un motor de N=1100 rpm la variación no es lo suficientemente grande como para ser significativa, además supone una pequeña mejora del rendimiento cuasipropulsivo cercana al 1,6%.

Tabla 5. Estimación de potencia suministrada para un motor de N=1100 rpm

V	EHP					BHP	
	Froud	Froud	N	W	nd	W	HP
1,000	0,059	0,127	4,930	2,540	0,669	3,912	0,005
1,200	0,071	0,152	8,070	4,980	0,669	7,669	0,010
1,400	0,082	0,177	11,860	8,540	0,670	13,150	0,018
1,600	0,094	0,203	16,270	13,400	0,670	20,630	0,028
1,800	0,106	0,228	21,310	19,730	0,670	30,370	0,041
2,000	0,118	0,253	26,950	27,730	0,670	42,675	0,057
2,200	0,129	0,279	35,140	39,770	0,670	61,189	0,082
2,400	0,141	0,304	47,360	58,470	0,670	89,937	0,121
2,600	0,153	0,329	60,220	80,550	0,670	123,865	0,166
2,800	0,165	0,355	73,880	106,420	0,671	163,598	0,219
3,000	0,176	0,380	88,580	136,710	0,671	210,094	0,282
3,200	0,188	0,405	107,790	177,440	0,671	272,593	0,365
3,400	0,200	0,431	127,540	223,090	0,671	342,597	0,459
3,600	0,212	0,456	148,150	274,380	0,672	421,198	0,565

3,800	0,223	0,481	169,310	330,980	0,672	507,875	0,681
4,000	0,235	0,507	190,650	392,320	0,672	601,737	0,807
4,200	0,247	0,532	212,480	459,090	0,672	703,827	0,943
4,400	0,259	0,557	235,850	533,860	0,673	818,065	1,097
4,600	0,270	0,583	260,130	615,590	0,673	942,833	1,264
4,800	0,282	0,608	288,470	712,320	0,673	1090,414	1,462
5,000	0,294	0,633	319,680	822,280	0,674	1258,055	1,686
5,200	0,306	0,659	372,880	997,500	0,674	1525,271	2,045
5,400	0,317	0,684	450,620	1251,830	0,675	1913,041	2,564
5,600	0,329	0,709	554,520	1597,520	0,675	2439,835	3,271
5,800	0,341	0,735	707,690	2111,600	0,675	3222,934	4,320
6,000	0,353	0,760	880,030	2716,360	0,676	4143,272	5,554

Una vez seleccionado el sistema de propulsión, nos faltaría buscar tanto las baterías como el sistema de control de corriente. Esta misma compañía proporciona todo el sistema de control de la corriente en un paquete único. Aunque habría que discutir si es la opción más interesante económicamente o existen motores con unas características más adecuadas, debido a la falta de respuesta por parte de los distribuidores ha sido complicado encontrar datos suficientes como para realizar un estudio sobre el sistema propulsor adecuado. Por lo que se optará por instalar el sistema que suministra la empresa. La Ilustración 14. Solución completa para un motor de 1kW. muestra todos los sistemas necesarios para su instalación, incluyendo los controladores de potencia, los reguladores de carga y descarga de baterías y los sistemas de protección.

SYS1 - 1kW System



Ilustración 14. Solución completa para un motor de 1kW. (Piktronik, 2021)

3.3.2 Sistema de alimentación del sistema propulsor

Lo que nos deja con la selección del sistema de baterías a instalar a bordo, debido al voltaje inusual que emplea se deberá o bien buscar una batería de 24V y reducir el voltaje de entrada con un regulador de corriente, suministrado en el conjunto de elementos anteriormente nombrado, o bien disponer de baterías de un voltaje inferior en línea.

La segunda opción presenta el inconveniente de que la mayoría de las baterías con un voltaje reducido que sirvan para este propósito, no son aptas para su instalación a bordo, como en el caso de baterías estacionarias. Donde su uso se reduce a instalaciones solares, o uso industrial en emplazamientos estables y bien ventilados.

Por lo tanto, se opta por instalar dos baterías de 12V en serie, remarcar que si se desea aumentar la autonomía del motor eléctrico se tendría que instalar dos baterías adicionales en paralelo.

El conjunto de baterías seleccionado se trata de Haze12-200, que consta de 12V cada batería que dispuestos en serie obtendría 24V. Junto con el regulador de corriente se proporciona al sistema propulsor los 16V requeridos. Al disponer de una capacidad de 200 A, nos proporcionaría una autonomía estimada de 4h.

Cada batería tiene unas dimensiones de 522*242*242 mm, y un peso individual de 63.3 kg.

En cuanto a la disposición de los diferentes elementos remarcar la posición de las baterías debido a su tamaño y gracias a los 6m de cable disponible, se emplazarán debajo de la escalera de acceso a la bodega. Ya que serán accesibles y estarán ligeramente ocultos. En cuanto a los mandos que controlan tanto la dirección como la potencia suministrada han de estar dispuesto en el nicho próximos a la caña del timón. El motor se dispondrá a 2.020 metros de la popa, ya que las formas del casco permiten su disposición sin entorpecer al timón, y sobre esa posición en cubierta no se encuentra ningún elemento, pudiéndose practicar la abertura necesaria para realizar los mantenimientos oportunos (ver Ilustración 15. Disposición del motor). Esta abertura tendrá que cumplir los requisitos marcados por la Norma (ISO 12216, 2002), la cual se verá con más detalle en el Capítulo 11.

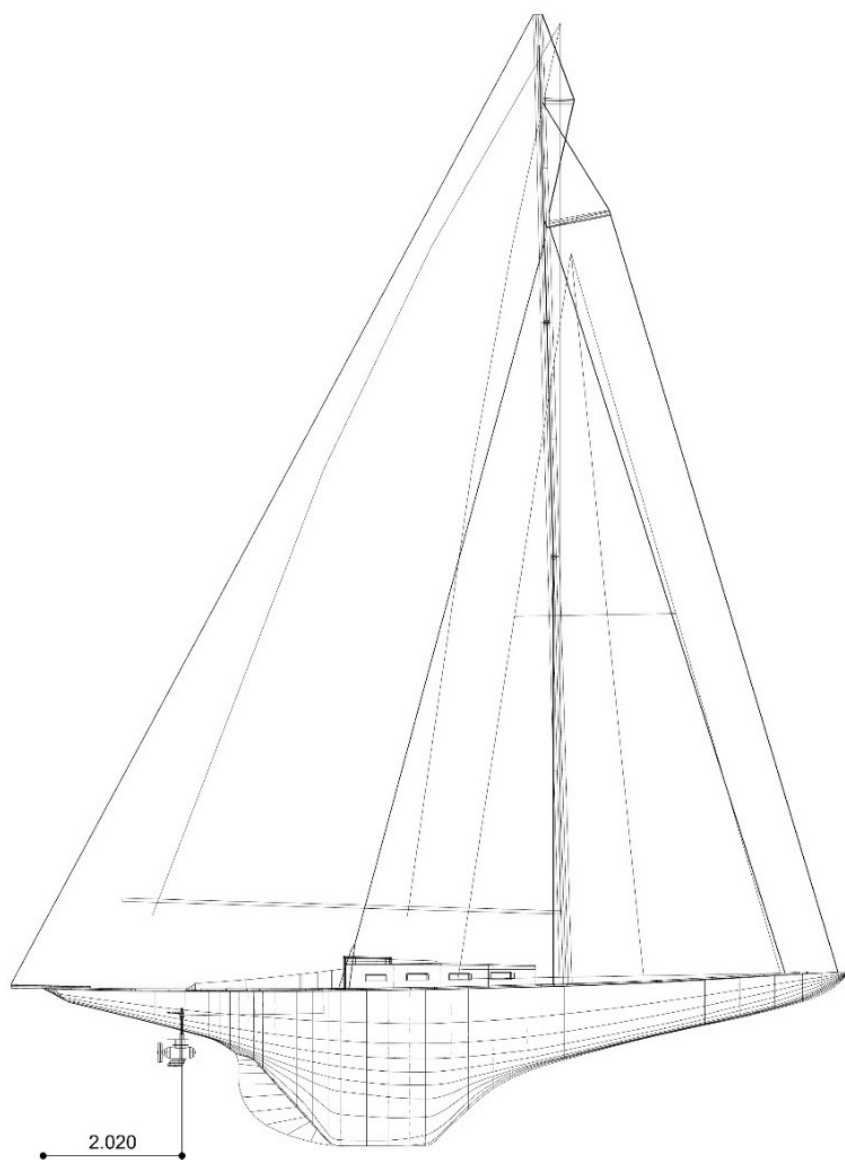


Ilustración 15. Disposición del motor

Capítulo 4 – Plano vélico y aparejo

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

4.1 Introducción

En este capítulo se describirán las dimensiones y parámetros a tener en cuenta en cuanto a la vela mayor y la génova, así como dimensionar la jarcia firme y el mástil. Al igual que se hizo en el capítulo anterior, se tomarán los datos del plano vélico original y de los documentos sobre la embarcación, modificándose únicamente en caso de error grave en el plano o por no cumplir algún requisito.

Antes de iniciar se procederá a describir someramente los distintos elementos del aparejo y jarcia, que aparecerá en este apartado.

4.1.1 Velamen

Se trata de un aparejo Bermudina o Marconi, se denomina así debido a que la jarcia firme está dispuesta de forma muy similar a la dispuesta en las torres de comunicación por radio. Este modelo está muy extendido en los yates y embarcaciones de recreo actuales debido al éxito precisamente de estas embarcaciones y sus regatas, abandonándose el uso de velas más tradicionales como la latina o cangreja, más habituales en nuestras costas antes del gran éxito que tuvo esta configuración.

Esta disposición del aparejo consta de una la vela mayor cuasi triangular dispuesta a popa del mástil (ver Ilustración 16. Vela mayor estilo bermuda.), esta vela se eleva mediante la driza que atraviesa el mástil mediante una roldana dispuesta en la parte superior del mástil, y se fija en la vela por el puño de driza. Su grátil está dispuesto de forma paralela al mástil y en su parte inferior, denominado pujamen, se fija a la botavara a través del puño de escota y el puño de amura. Quedando un lado de la vela libre, la baluma.

Esta vela mayor dispone de sables, elementos normalmente de fibra o madera los cuales se insertan en unas aberturas similares a bolsillos que se encuentran en el borde externo de la vela, la denominada baluma con el objetivo de proporcionar un alunamiento (Forma ligeramente curvada, con el objetivo de proporciona una mayor superficie a la vela manteniendo su perfil y por tanto su superficie de

cara a la Norma o normativa de la competición correspondiente). Este alunamiento también se puede denominar buque de paloma.

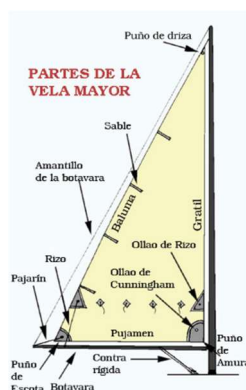


Ilustración 16. Vela mayor estilo bermuda. (Nautical dictionary, 2021)

Lo más usual, y en esta embarcación así sucede, es que se disponga de una segunda vela dispuesta a proa del mástil. Suele tratarse de un foque o génova. Ambas velas son triangulares y están envergadas en el estay de proa, o de galope. La diferencia principal entre estas dos velas consiste en la posición de su baluma, ya que el foque nunca sobrepasará el mástil. Mientras que la génova si lo hará, clasificándose esta según cuanto porcentaje de esta supera el mástil.

En un principio esta embarcación disponía de un foque, pero se sustituyó en 1930 con el objetivo de proporcionar una mayor superficie velica y poder competir así en regatas de mayor renombre. Por lo que se realizará el presente estudio empleando la génova ya que se trata de la versión definitiva de esta embarcación, y la que más tiempo estuvo en servicio.

Como ya se ha dicho antes este tipo de vela se define según el porcentaje de vela que sobrepasa el palo, superponiéndose así con la mayor, para saber cuál es este porcentaje de vela que sobrepasa el palo realizamos el siguiente cálculo.

$$\%Génova = \frac{LP}{J} = \frac{4.609}{3.034} = 151.9\%$$

Siendo

- LP: la distancia perpendicular entre el grátil y el puño de la escota
- J: la distancia horizontal medida desde la base del estay de proa hasta la parte más a proa del mástil

Al no haber ningún indicio al respecto de si la génova era enrollable o no, se va a optar por una génova no enrollable. Ya que, en las fotos actuales de la embarcación tras su reconstrucción, y de la embarcación gemela el R11-Penobscot, no se aprecia dicho elemento. Aunque podría ser que dispusiese de dicho elemento, ya que la patente consta de 1907, no era habitual su uso por esos años.

Por lo que se optará por la opción más lógica, es decir la vela envergada a la estacha de proa e izada mediante el uso de una driza. Esto presenta una ligera desventaja frente al uso de una vela dispuesta en un enrollador a la hora de realizar las maniobras. Ya que no puede disponerse la vela en posiciones intermedias y complica la maniobra de izado. Pero mantendremos el aspecto de la embarcación clásica que al final es el objetivo de este proyecto.

A continuación, definiremos rápidamente las dimensiones principales de la vela, estos datos son tomados a partir del plano velico, se dispondrá las medidas directamente en SI y no en unidades imperiales. Los diferentes parametros se muestran en la Ilustración 17. Dimensiones principales de las velas. .

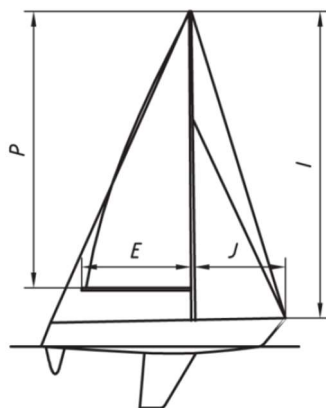


Ilustración 17. Dimensiones principales de las velas. (ISO 8666, 2016)

- Vela mayor
 - l, altura del triángulo de proa: 13.000m
 - J, base del triángulo de proa: 6.300m
- Genovesa
 - P: altura de la vela principal: 10.770m
 - E: Base de la vela principal: 3.048m

Antes de iniciar el estudio de la jarcia, se ha de realizar una serie de comprobaciones en cuanto al diseño de la vela, siguiendo los pasos indicados en *Principles of yacht design* (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000). Esta bibliografía basa sus cálculos en los criterios marcados por (Nordic Boat Standard, 1990) al ser uno de los pocos criterios que tienen en cuenta el aparejo.

El primer paso es comprobar que el triángulo de proa formado por el stay de proa, o de galope, y el mástil no esté sobredimensionado. Hay que tener en cuenta que como se verá más adelante, esta fórmula al igual que la marcada por *Universal Rule*, obtendría el mismo resultado con el empleo de un foque o una genova. Aun con la gran diferencia de área que tienen ambas velas entre sí. Ya que no tiene en cuenta las dimensiones reales de la vela, sino de la jarcia en la cual esta envergada. Dichas dimensiones deben cumplir la siguiente relación:

$$\frac{I * J}{E * P} < 1.6$$

Particularizando en nuestro caso.

$$\frac{10.770 * 3.048}{13.000 * 6.300} = 0.401 < 1.6 \text{ **Cumple**}$$

La segunda condición por cumplir se trata de la relación entre el momento adrizante, partido por el producto de 128 veces la distancia vertical entre flotación y centro de presión conjunto de todas las velas. Esta relación ha de ser menor que el área total proyectada del velamen

$$\frac{RM}{128 * HA} < A_s$$

Para satisfacer esta condición, primero tendremos que obtener el momento adrizante, el cual podremos obtener de dos maneras, ambas explicadas en la *Fig. 11.1* en la bibliografía *Principles of yacht design* (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000). Se ha optado por tomar el momento adrizante correspondiente a 1º de escora.

Las dos posibles fórmulas dispuestas en la bibliografía son las siguientes:

$$\delta_{Rm} = 75 * n * (3.4B - 4.9 * F_S)$$

$$RM = \frac{RM_{30} * \Delta}{G} + \delta_{Rm}$$

O bien

$$RM = \frac{27 * RM_1 * \Delta}{G} + \delta_{Rm}$$

$$RM_{min} = 29 * RM_1$$

Empezaremos obteniendo el momento añadido por la tripulación (δ_{Rm}), siendo:

- $n = 4$, el número de tripulantes
- $F_S = 0.567 \text{ m}$ el francobordo medido en el mástil.
- $B = 2.568 \text{ m}$

$$\delta_{Rm} = 75 * 4 * (3.4 * 2.568 - 4.9 * 0.567)$$

$$\delta_{Rm} = 1785.870 \text{ Nm}$$

Procedemos a obtener el momento adrizante RM, para ello necesitamos saber.

- $RM_1 = 1423.431 \text{ Nm}$ este valor se obtuvo mediante *Maxsurf Stability*.
- $G = 5381 \text{ kg}$, es el desplazamiento de la embarcación en rosca
- $\Delta = 5871 \text{ kg}$, desplazamiento de la embarcación en condición de carga máxima

$$RM = \frac{27 * 1423.431 * 5871}{5381} + 1785.870$$

$$RM = 43718.227 \text{ Nm}$$

$$RM_{min} = 29 * 1423.431$$

$$RM_{min} = 41279.499 \text{ Nm}$$

Para obtener el parámetro HA (ver Ilustración 18. Definición HA.), la altura desde flotación hasta el centro de presiones de todas las velas se obtendrá de forma gráfica, obteniendo como resultado $HA = 5.514 \text{ m}$.

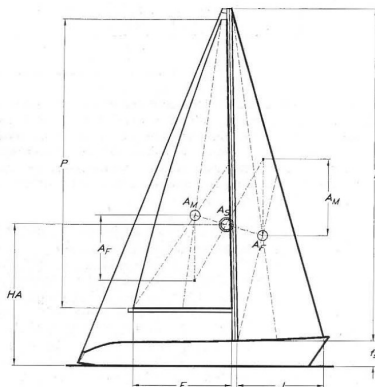


Ilustración 18. Definición HA. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

Cuando disponemos de todos los parametros necesarios podemos estudiar si nuestra embarcación cumple con el segundo criterio marcado.

$$\frac{43718.227}{128 * 5.514} = 61.942$$

Al ser el resultado menor que la superficie velica de nuestra embarcación, significa que se ha de clasificar como velero puro, y no como embarcación a motor que dispone de una vela. Por lo cual la jarcia firme y el mástil se han de escantillonar en consecuencia.

$$\frac{RM}{128 * HA} < A_s$$

$$61.942 < 68.089 \text{ m}^2$$

4.1.2 Aparejo

4.1.2.1 Jarcia firme

Una vez cumplimentadas estas condiciones se iniciaría el proceso de elegir el número de crucetas, la disposición de estas y si el mástil se dispondrá sobre cubierta o estará apoyado en la quilla.

Aunque todas estas decisiones no se han de tomar en el presente proyecto al ser datos de partida, se mostrarán las ventajas e inconvenientes de cada decisión para comprender la razón de que se tomase una u otra decisión.

La estabilidad longitudinal del mástil depende principalmente de la tensión creada por los stays de proa (estay de galope) y popa (burdas y contraestay), así como la disposición del mástil sobre cubierta o sobre quilla. Además, el número de crucetas y si estas están retrasadas o son perpendiculares al mástil, tienen una fuerte influencia sobre la estabilidad longitudinal.

Mientras que la estabilidad transversal, depende del número de crucetas, los obenques y si el mástil esta sobre cubierta o apoyado en la quilla.

Empezaremos por el mástil, en esta embarcación está apoyado en la quilla y el elemento que aloja el mástil se denomina mortaja. Esta disposición presenta una serie de ventajas e inconvenientes, aunque algunos de estos efectos en la actualidad se puedan mitigar. Las razones que se expondrán a continuación se verán desde el punto de vista del diseñador original, el cual tenía acceso a un abanico menor de formas o materiales (herramientas con las cuales contamos en la actualidad para reducir dichos efectos).

- Se obtienen mástiles más delgados que obtienen una mejor eficiencia en la vela mayor, al influir menos en el flujo del aire hacia esta. En la actualidad, en especial con el uso de mástiles de aluminio este punto reduce su importancia enormemente al crease secciones en el mástil que reducen drásticamente su influencia.
- Permite ángulos en el velamen de proa más pequeños, al poder instalarse un palo de mayor longitud.
- Transmite parte de los esfuerzos recibidos a la quilla, lo que produce un sobredimensionamiento de esta al precisar absorber estos esfuerzos.
- Dificulta su trimado.
- Riesgo de embarcación de agua a través del orificio practicado en la cubierta para permitir el paso del mástil.

Con esta información es sencillo comprender la razón por la cual se dispuso el mástil sobre la quilla. Primero y no por ello menos importante se trataba de la solución más común en esa época, además el obtener un mástil más delgado y que influya menos en la superficie velica es primordial para una embarcación destinada íntegramente a competición. Además, un mástil más ligero eleva menos el centro de gravedad y por lo tanto se precisa de menos lastre fijo para compensar esta subida del centro de gravedad.

Mientras que los inconvenientes son relativamente superfluos para el uso al cual iba destinado originalmente esta embarcación. Los sobreesfuerzos producidos en la quilla pueden solucionarse de forma sencilla sobredimensionando la quilla y el empleo de refuerzos, este sobredimensionamiento puede ser hasta beneficioso ya que los veleros han de compensar los esfuerzos ejercidos sobre la vela mediante el uso de lastre. Si se dispone de una quilla más pesada, el centro de gravedad se encuentra más bajo y se reduce la cantidad de lastre en forma de plomo que se ha de embarcar. Otro inconveniente es el hecho de tener el mástil atravesando el espacio interior de la embarcación, pero al ser una embarcación de regatas no influye en un menor espacio de carga, ya que no se dispone de este. En cuanto a la posibilidad de embarcación de agua, no supone ningún gran problema, ya que se puede solucionar mediante el uso de una chubasquera (ver Ilustración 19. Ejemplo de chubasquera en la reconstrucción del R-11), una lona dispuesta alrededor del mástil para evitar la embarcación de agua por salpicaduras o lluvias.



Ilustración 19. Ejemplo de chubasquera en la reconstrucción del R-11 (The R Class Racing Sloop Directory, 2021)

Continuamos con el número y forma de las crucetas, la embarcación en un principio disponía de 2 pares de crucetas rectas, que proporcionaban estabilidad transversal al mástil. Pero en 1930 se modificó para que solo un par de estas crucetas trabajase junto los obenques en la estabilidad transversal, mientras que el otro par, daría rigidez al conjunto mediante el uso de jarcia en diamante, pero ya no daría estabilidad transversal al conjunto. Esta decisión se tomó ya que la embarcación originalmente disponía de un foque, pero para poder competir en competiciones de mayor importancia era casi imprescindible el uso de una mayor superficie velica mediante la instalación de una genova. Para que el mástil pudiese soportar los esfuerzos adicionales se precisaba proporcionar de mayor rigidez al mástil en su tramo final.

Por lo que nos encontramos ante un aparejo fraccionado con un único par de crucetas rectas destinadas a la estabilidad del mástil, y un par adicional destinado proporcionar rigidez al mástil en su punto más elevado. En la siguiente imagen se encuentra la clasificación dispuesta en la bibliografía de las diferentes configuraciones del aparejo, siendo la de esta embarcación la F-1. En la Ilustración 20. Ejemplo de los tipos de aparejo. encontramos los diferentes aparejos.

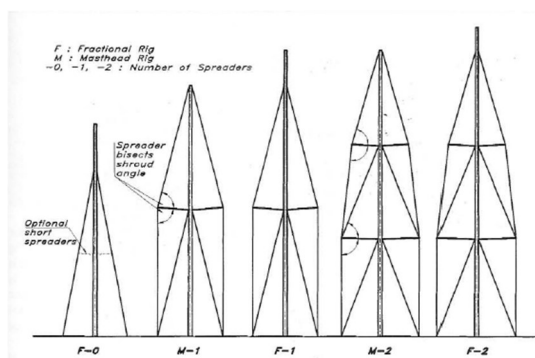


Ilustración 20. Ejemplo de los tipos de aparejo. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

4.1.2.2 Jarcia en diamante

Esta distribución de la jarcia en diamante consiste en un cable que sale del palo, pasa a través del extremo de la cruceta y vuelve al palo, formando un rombo. Con el objetivo de dotar de rigidez al palo reduciendo el pandeo, creando una compresión en el mástil.

Esta estructura no crea estabilidad longitudinal ni transversal, si quisiéramos disponer de mayor estabilidad transversal o longitudinal se emplearían los siguientes elementos:

- Estay de proa o de galope.
- Estay de popa o contraestay.
- Burda.
- Obenques.

El objetivo al instalar este sistema es permitir la instalación de la superficie velica con una sección de mástil menor a la necesaria en su tramo final. Ya que al añadir esta rigidez al palo se permite el uso de un diámetro inferior del mismo.

4.1.2.3 Violines

Los violines tienen una función un poco más específica, ya que su función es evitar que la parte superior del mástil, espiga, caiga a popa cuando se caza la vela mayor. Dotando de una rigidez mayor a esta zona del palo creando una compresión en él, de la misma forma que en el caso anterior. Reduciendo así que la vela pierda capacidad de propulsión al perder tensión esta. En Ilustración 21. Ejemplo de violines. se aprecia un ejemplo de violines junto unas crucetas.



Ilustración 21. Ejemplo de violines. (Asociación Argentina Clase Grumete, 2021)

Otro elemento que se añadió tras la modificación en 1930 es la adición de un tangón, un palo dispuesto en popa a la altura de la cubierta, cuya función es fijar el contraestay.

Por último, antes de iniciar el estudio de la jarcia firme, se muestran una las ilustraciones Ilustración 22. Definición jarcia firme e

Ilustración 23. Definición jarcia firme, nombrando los diferentes elementos que nos encontraremos en esta embarcación.

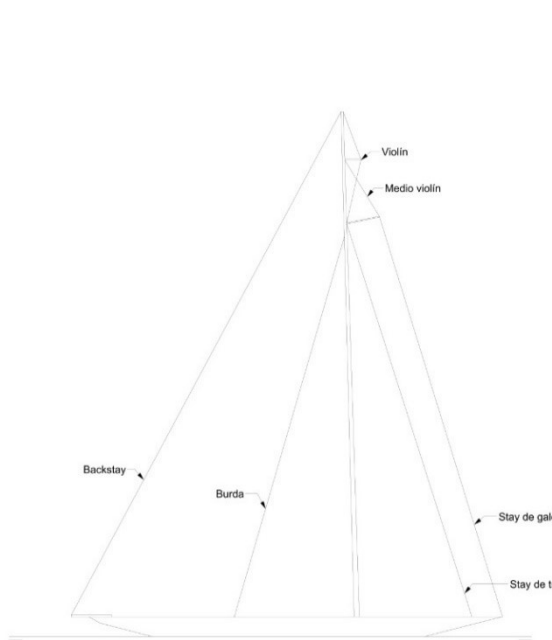


Ilustración 22. Definición jarcia firme, lateral

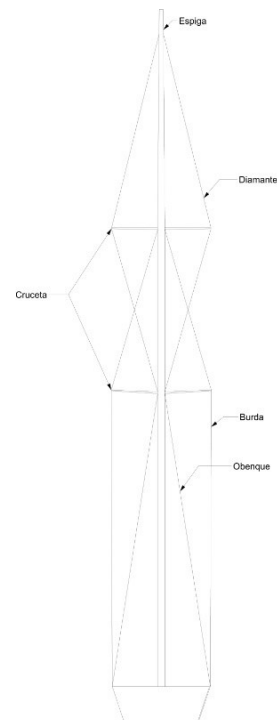


Ilustración 23. Definición jarcia firme, frontal

4.2 Cargas en la jarcia

4.2.1 Cargas transversales

Primero tendremos que obtener las diferentes cargas a la cual se verá sometido el mástil y que transmitirá a la jarcia. Las fuerzas aplicadas son el resultado de la presión del viento sobre las velas en adición de otras fuerzas dinámicas que provienen del mar y el viento. Se consideran dos casos, un primer caso en el que solo se tienen en cuenta la acción del viento sobre la génova, se obtiene como el momento adrizante

anteriormente calculado entre la distancia entre la línea de flotación y el obenque más elevado. En la Ilustración 24. Diagrama datos principales. se encuentran los parámetros necesarios para el cálculo siguiente.

$$T_1 = \frac{RM}{a_1}$$

$$T_1 = \frac{43718.227}{10.206} = 428 \text{ daN}$$

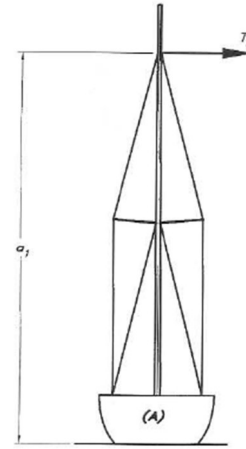


Ilustración 24. Diagrama datos principales. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

En el segundo caso se tendrá en cuenta la vela principal, pero ésta se hallará rizada, es decir, no se ha izado por completo la vela mayor sino que un porcentaje de ésta se encuentra trimada en la botavara. Por ello, tomamos P como $0.6P$, mientras que a_2 es la altura desde la línea de flotación hasta el centroide de la vela rizada. La fuerza transversal T_2 se distribuye entre la fuerza aplicada en la driza y la botavara.

$$T_2 = \frac{RM}{a_2} = \frac{43718.227}{4.264} = 1025 \text{ daN}$$

$$T_{head} = 0.40 * T_2 = 410 \text{ daN}$$

$$T_{boom} = 0.33 * T_2 = 338 \text{ daN}$$

Al encontrarse la fuerza distribuida en la driza, T_{head} , entre dos obenques, esta fuerza se descompondrá entre el obenque superior e el inferior. Obteniendo T_{hu} y T_{hl} :

$$T_{hu} = \frac{T_{head} * d_1}{d_1 + d_2} = \frac{410.147 * 2.697}{2.697 + 0.719} = 324 \text{ daN}$$

$$T_{hl} = \frac{T_{head} * d_2}{d_1 + d_2} = \frac{4101.147 * 0.719}{2.697 + 0.719} = 86 \text{ daN}$$

La fuerza aplicada en la botavara, T_{boom} , es soportada por la cubierta y los obenques inferiores. Por ello es necesario obtener T_{bu} , donde BD es la distancia entre la botavara y la cubierta, mientras que l_1 es la altura del obenque inferior desde cubierta. En la Ilustración 25. Diagrama datos principales 2. encontraremos los parámetros necesarios para la realización del cálculo.

$$T_{bu} = \frac{T_{boom} * BD}{l_1} = \frac{3383.446 * 1.133}{6.223} = 62 \text{ daN}$$

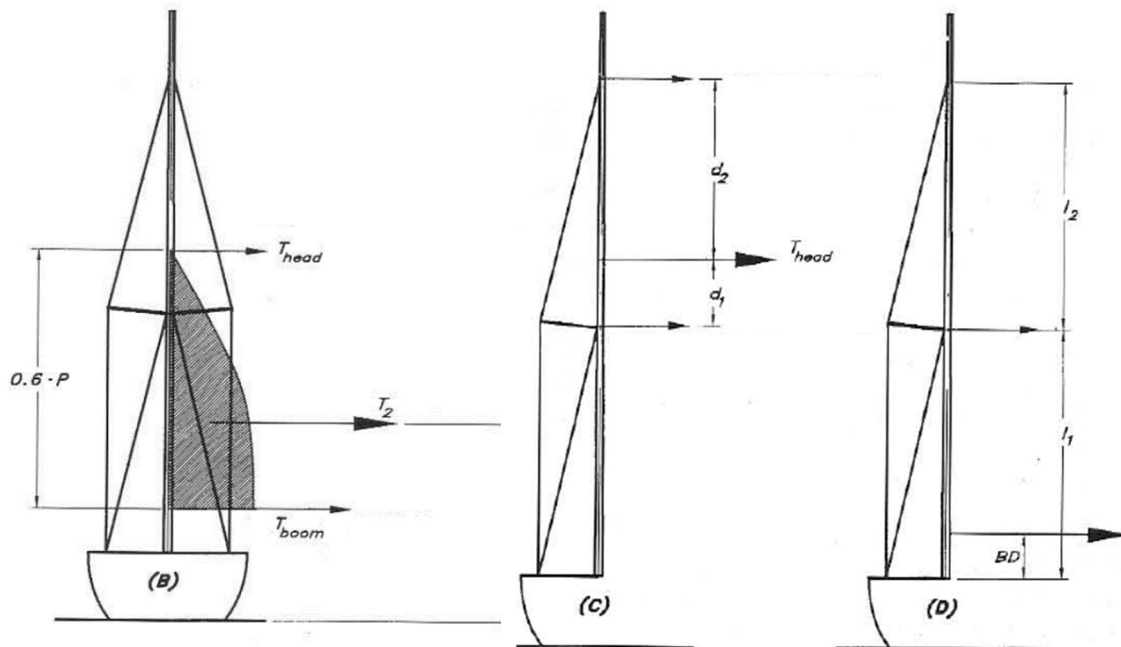


Ilustración 25. Diagrama datos principales 2. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

Disponemos de los datos necesarios para acudir a la siguiente tabla (ver

Tabla 6. Fuerzas máximas en el aparejo.) para obtener las fuerzas de diseño dependiendo del tipo de aparejo. Al ser nuestro caso el aparejo denominado como F-1, aparejo fraccionado con un único par de crucetas, recordemos que el segundo par de crucetas no tiene una función estructural, obtendremos las fuerzas máximas F_1, F_2 y F_3 . En la

Ilustración 26. Diagrama de las fuerzas máximas en el aparejo M-1/F-1. encontramos la distribución de dichas fuerzas en el aparejo.

Tabla 6. Fuerzas máximas en el aparejo. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

Dimensioning Forces F_1 F_2 F_3							
Type of Rig	Load Case 1 (Fig 10.3A)				Load Case 2 (Fig 10.3B)		
	F_1	F_2	F_3		F_1	F_2	F_3
$F-0$	T_1	0	0		$T_{hu}+T_{bu}$	0	0
$M-1/F-1$	0	T_1	0		$T_{hl}+T_{bu}$	T_{hu}	0
$M-2/F-2$ ¹⁾	0	0	T_1		T_{bu}	T_{hl}	T_{hu}
$M-2/F-2$ ²⁾	0	0	T_1		$T_{hl}+T_{bu}$	T_{hu}	0

1) If $BD+0.6P > l_1+l_2$
 2) If $BD+0.6P < l_1+l_2$

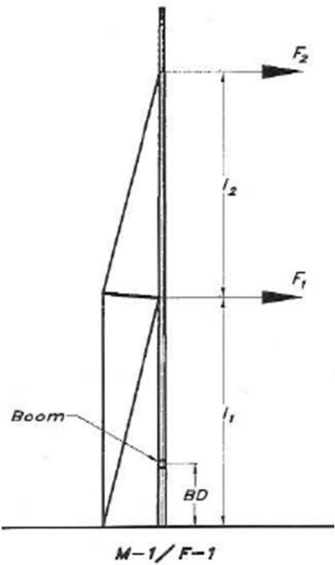


Ilustración 26. Diagrama de las fuerzas máximas en el aparejo M-1/F-1. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

Obtenemos los siguientes valores, de los cuales tomaremos de entre los casos 1 y 2 los valores más altos, ya que son los más exigentes para la estructura.

$$F1 = \max(0; T_{hl} + T_{bu}) = 133 \text{ daN}$$

$$F2 = \max(T_1; T_{hl} + T_{bu}) = 429 \text{ daN}$$

$$F3 = \max(0; 0) = 0 \text{ daN}$$

A partir de estos valores obtenemos las cargas en los obenques, en la bibliografía se presentan al igual que antes tres casos diferentes, tomando para este proyecto el caso de aparejo F-1, en la Ilustración 27. Diagrama parámetros en los obenques. veremos los parámetros necesarios para el cálculo. Una vez obtenidos estas cargas se les aplicará un factor de seguridad, con el objetivo de cubrir los parámetros que no se han tenido en cuenta en el cálculo, como balanceo producido por el mar, rachas de viento entre otros.

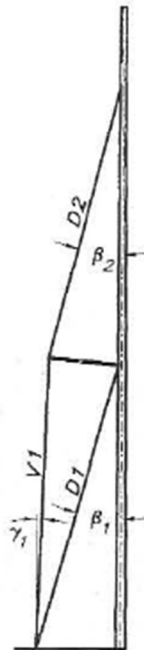


Ilustración 27. Diagrama parámetros en los obenques. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

Procedemos a obtener las tensiones en los obenques. Primero obtenemos los del plano velico los ángulos de los obenques. $\beta_2 = 16.8$, $\beta_1 = 8.7$ y $\gamma_1 = 0.4$.

$$D2 = \frac{F_2}{\sin(\beta_2)} = 1482 \text{ daN}$$

$$V1 = \frac{F_2}{\cos(\gamma_1) \tan(\beta_2)} = 1418 \text{ daN}$$

$$C_1 = F_2 - V1 \sin(\gamma_1) = 418 \text{ daN}$$

$$D1 = \frac{F_1 + C_1}{\sin(\beta_1)} = 3644 \text{ daN}$$

Continuamos calculando las cargas de diseño en los obenques.

$$P_{D1} = 2.8 * D1 = 10205 \text{ daN}$$

$$P_{D2} = 3.2 * D2 = 4743 \text{ daN}$$

$$P_{V1} = 3.0 * V1 = 4256 \text{ daN}$$

4.2.2 Cargas longitudinales

La norma (Nordic Boat Standard, 1990), en la cual se basan estos cálculos, reconocen seis tipos de aparejo. Este proyecto presenta la jarcia según el modelo 4 (ver Ilustración 28. Diagrama disposición longitudinal de la jarcia firme.).

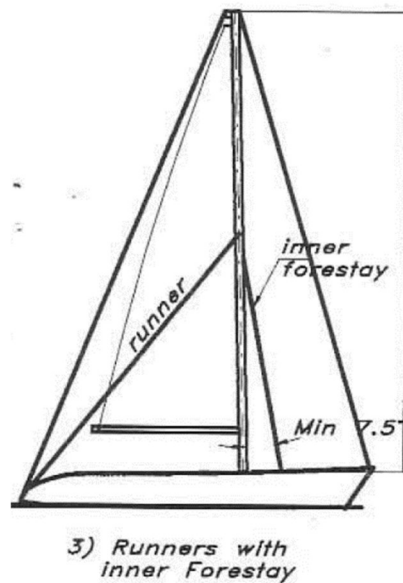


Ilustración 28. Diagrama disposición longitudinal de la jarcia firme. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

Se procede a obtener la carga de rotura mínima que dispondrá cada elemento. Siendo $f_s = 0.567 \text{ m}$, el francobordo en el mástil e $I = 14.122 \text{ m}$.

Estay de proa:

$$P_{fo} = \frac{15 * RM}{I + f_s} = 4899 \text{ daN}$$

Estay interior:

$$P_{fi} = \frac{12 * RM}{I + f_s} = 3572 \text{ daN}$$

En cuanto el estay de popa:

$$P_a = \frac{2.8 * RM}{I * \sin(\alpha_a)} = 1697 \text{ daN}$$

Runner, se dimensiona igual que si fuese el estay de popa en un aparejo continuo, siendo $\alpha_f = 14.7$.

$$P_{arunner} = \frac{P_{fo} \sin(\alpha_f)}{\sin(\alpha_a)} = 2450 \text{ daN}$$

Estas funciones ya tienen integradas un margen de seguridad, pero para aquellos que dispongan de un tensor es una buena práctica aumentar un 25% esta carga de diseño.

4.2.3 Selección de la jarcia firme

Primero tendremos que elegir entre un cable macizo o un cable trenzado, al igual que en numerosos puntos de este proyecto, esta decisión esta predefinida por el proyecto original disponiendo de un cable trenzado de acero inoxidable. Pero se mostrará rápidamente los puntos fuertes de cada posible elección. Los puntos por estudiar son los siguientes:

- Fuerza de rotura: al mismo diámetro, el cable macizo presenta una resistencia a la rotura un 20% mayor.
- Fatiga: en este punto obtiene la ventaja el cable trenzado, ya que una simple inspección visual es suficiente para ver si alguno de los

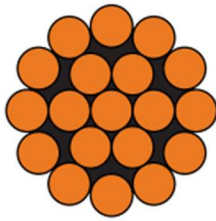
cables que lo componen se ha roto por fatiga y se ha de cambiar. Mientras que un cable macizo es imposible su detección visual.

- Resistencia a la corrosión: depende del material empleado, el único punto de diferencia es una decoloración presente en los cables trenzados, que no aparece en los cables macizos.
- Resistencia al viento: este parámetro depende del diámetro, por lo que al tener para una misma carga de rotura un diámetro menor el cable macizo, también presentaría una resistencia menor.
- Manejo y guardado: el cable trenzado puede enrollarse en bobinas de entre 0.5–0.8m, mientras que el cable macizo no puede enrollarse en diámetros menores a 200 veces su diámetro.
- Precio: para una misma resistencia el cable macizo es entre un 50–100% más caro que el cable trenzado.

Una vez tenemos todos los parámetros dispuestos, podemos acudir a un fabricante para obtener los diámetros de cada elemento (ver Ilustración 29. Datos del fabricante, correspondiente a cable de acero inoxidable.). Para ello recordemos en la Tabla 7. Carga de diseño de la jarcia firme. cuáles son las cargas de rotura de cada elemento:

Tabla 7. Carga de diseño de la jarcia firme.

Elemento	Carga de diseño (daN)	Margen de seguridad	Carga de diseño final (daN)
P_{D1}	10205	1.2	12245
P_{D2}	4743	1.2	5691
P_{V1}	4256	1.2	5108
P_{fo}	4899		4899
P_{fi}	3919	1.25	4899
P_a	1697		1697
$P_{arunner}$	2450		2450



- Acero inoxidable AISI316
- Resistencia 1570 N/mm²
- Módulo elástico (E) 130000 N/mm²
- Acabado pulido
- Stainless steel AISI316
- Strength 1570 N/mm²
- Elastic modulus (E) 130000 N/mm²
- Pulished finishing
- Acier inoxydable AISI316
- Résistance 1570 N/mm²
- Module élastique (E) 130000 N/mm²
- Finition poulie

Ø Nominal mm	Peso*	Sección	Carga de rotura**	
mm	kg/m	mm ²	kN	kg
1,00	0,005	0,60	0,82	84
1,50	0,011	1,34	1,85	189
2,00	0,020	2,40	2,94	300
2,50	0,031	3,70	5,15	525
3,00	0,045	5,30	7,42	756
3,50	0,061	7,30	10,10	1030
4,00	0,079	10,00	13,15	1340
5,00	0,124	14,00	20,60	2100
6,00	0,178	21,00	29,72	3030
7,00	0,243	29,00	40,42	4120
8,00	0,317	38,00	52,78	5380
10,00	0,495	59,00	82,40	8400
12,00	0,713	83,00	118,70	12100
14,00	0,971	123,00	161,87	16500
16,00	1,270	153,00	210,92	21500
19,00	1,790	216,00	286,45	29200
22,00	2,360	283,00	391,42	39900
26,00	3,300	399,00	533,66	54400

Ilustración 29. Datos del fabricante, correspondiente a cable de acero inoxidable. (Cables estructurales, 2021)

Quedando por tanto los siguientes diámetros que se muestran en la Tabla 8. Diámetros de la jarcia firme..

Tabla 8. Diámetros de la jarcia firme.

Elemento	Carga de rotura (KN)	Carga de rotura (daN)	Diámetro (mm)
P_{D1}	161.87	16187	14.00
P_{D2}	82.40	8240	10.00
P_{V1}	82.40	8240	10.00
P_{fo}	52.78	5278	8.00
P_{fi}	52.78	5278	8.00
P_a	20.60	2060	5.00
$P_{arunner}$	29.72	2972	6.00

4.3 Diseño del mástil

Una vez conocidas las cargas a las que está sometida la jarcia firme, se dimensionará el mástil, el cual como ya se ha dicho antes, está sujeto en su posición mediante los obenques, burdas y stays. Mientras que su apoyo se encuentra en la mortaja, a través de los cuales transmite los esfuerzos hasta la estructura del casco.

En cuanto a la construcción se trata de un mástil de madera, abeto de Stika, de sección circular y hueco. No se define en ningún momento como se unen los diferentes listones de los cuales está constituido el mástil. Por lo que se tomará el método más común, el pico de pájaro (ver ejemplo en Ilustración 30. Mástil construido mediante pico de pájaro.). Donde se unen diferentes listones rectangulares, y posteriormente se mecaniza para dar forma al mástil.

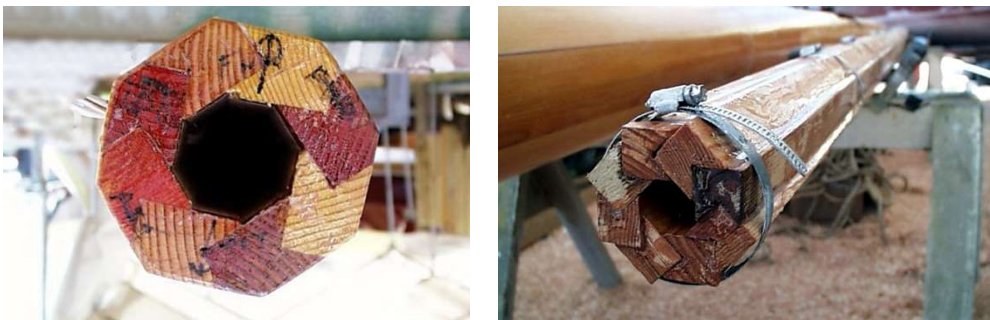


Ilustración 30. Mástil construido mediante pico de pájaro. (Fondear, 2021)

4.3.1 Momento transversal del mástil

El primer paso para su dimensionamiento pasa por obtener el momento transversal de inercia, teniendo en cuenta que, de cara a la obtención del momento de inercia del mástil, cada cruceta divide el mástil en pequeñas secciones denominadas paneles. En Ilustración 31. Diagrama parámetros mástil. encontraremos parámetros necesarios para el cálculo.

$$I_x = k_1 * m * PT * I(n)^2 \text{ [mm]} *^4$$

Siendo

- $PT = \frac{1.5 \cdot RM}{b} = \frac{1.5 \cdot 43718.227}{1.000} = 65577N$
- k_1 = ambas se toman de la tabla dispuesta en la pg 217 de PYD para F1
 - $k_1 [Panel 1] = 2.4 \cdot k_3$
 - $k_1 [Panel 2] = 3.35$
- $m = 7.25$ para madera
- $I(n)$ longitud del tramo de mástil
 - $I(n1) = 6.223 m$
 - $I(n2) = 3.416 m$
- $k_3 = 1.00$ para mástil apoyado en la quilla

Para la obtención de I_x del panel 2, PT se reduce en $D1 \cdot \cos \beta_1$

$$I_{x1} = 44187828 \text{ mm}^4$$

$$I_{x2} = 8256481 \text{ mm}^4$$

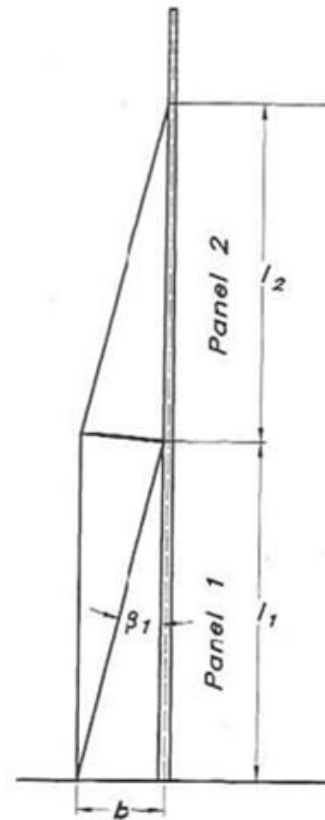


Ilustración 31. Diagrama parámetros mástil. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

Hay que destacar que se reduce el momento de inercia un 35% si el mástil está apoyado sobre la quilla en vez de la cubierta. Si estuviese apoyado sobre cubierta el parámetro k_3 pasaría a tener el siguiente valor $k_3=1.35$. Al igual que se obtendría diámetros mucho menores en el palo si se usase aluminio, al ser $m=1$, en vez de $m=7.25$.

4.3.2 Momento longitudinal del mástil

En este caso se conservarán estos parámetros: (PT, m y k_3) por lo que nos faltaría obtener los parámetros (k_2 y h) para obtener la inercia longitudinal a partir de la siguiente fórmula:

$$I_y = k_2 \cdot k_3 \cdot m \cdot PT \cdot h^2 \text{ [mm]}^4$$

- $k_2 = 0.85$ (Obtenido en la tabla dispuesta en pg 219 de PYD), entrando en la tabla con los siguientes parámetros $(F-1)/(3)$.
- $h = 14.122$ (*Altura del mástil desde cubierta*).

$$I_y = 423999234 \text{ [mm]}^4$$

Tomamos el momento longitudinal o transversal más exigente, recordamos cuales eran cada uno.

Tramo 1:

$$I_{x1} = 44187828 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 42399924 \text{ [mm]}^4$$

Tramo 2:

$$I_{x2} = 8256482 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 42399924 \text{ [mm]}^4$$

Tomamos el momento de inercia crítico, es decir, $I_{x1} = 44187828 \text{ mm}^4$. No utilizamos el valor transversal, aunque lo más habitual es el uso de mástiles con forma elíptica, ya que como podemos observar el momento de inercia transversal en el segundo tramo es considerablemente más pequeño, lo que permitiría una dimensión transversal menor. Pero en esta embarcación el mástil consta como mástil con sección circular. Por lo tanto, solo se toma un valor crítico, el mayor.

A partir de estos valores obtendremos los diámetros para los diferentes tramos, calculando el momento de inercia del palo para diferentes diámetros, tanto exteriores como interiores sabiendo que el diámetro exterior es en un principio $D = 152 \text{ mm}$, desconociendo el interior.

Una vez iniciado el estudio se observa que este diámetro exterior es insuficiente, ya que si tomamos $D = 152 \text{ mm}$ y uno interior de $d = 0 \text{ mm}$, es decir un mástil macizo completamente, obtenemos un momento de inercia inferior a los requisitos del sistema:

$$I_{Mástil} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = 2.620 * 10^7 \text{ mm}^4$$

Por tanto, primero buscaremos en Tabla 9. Posibles radios del mástil en el Tramo 1. cuáles son los diámetros exteriores aptos, sabiendo que el mástil que se instalará será hueco y los espesores habituales rondan en los 50 y 100 mm de espesor. Los valores resaltados en rojo son aquellos que superan el valor mínimo requerido.

Tabla 9. Posibles radios del mástil en el Tramo 1.

D/Espesor	152	160	165	170	171	172	173	174	175
50	2,584E+07	3,153E+07	3,551E+07	3,982E+07	4,072E+07	4,164E+07	4,258E+07	4,352E+07	4,449E+07
55	2,605E+07	3,186E+07	3,593E+07	4,036E+07	4,129E+07	4,224E+07	4,320E+07	4,417E+07	4,516E+07
60	2,615E+07	3,204E+07	3,618E+07	4,069E+07	4,164E+07	4,260E+07	4,358E+07	4,458E+07	4,559E+07
65	2,619E+07	3,213E+07	3,631E+07	4,087E+07	4,183E+07	4,281E+07	4,380E+07	4,481E+07	4,584E+07
70	2,620E+07	3,216E+07	3,636E+07	4,096E+07	4,193E+07	4,291E+07	4,391E+07	4,493E+07	4,596E+07
75	2,620E+07	3,217E+07	3,638E+07	4,099E+07	4,196E+07	4,295E+07	4,396E+07	4,498E+07	4,602E+07

Para ayudarnos en la toma de decisión, buscaremos los diámetros que empleen un menor volumen de madera, y por lo tanto un menor peso del mástil. Para ello buscaremos cuales poseen un área menor.

En la Tabla 10. Área correspondiente a cada par de diámetros. se han resaltado ciertos pares de diámetros, en este caso resaltando aquellos que su momento de inercia era suficiente. Seleccionaremos el par de diámetros que nos proporcione un área menor. Quedando un resultado para el primer tramo:

Tabla 10. Área correspondiente a cada par de diámetros.

D/Espesor	152	160	165	170	171	172	173	174	175
50	16022,123	17278,760	18064,158	18849,556	19006,636	19163,715	19320,795	19477,874	19634,954
55	16760,397	18142,698	19006,636	19870,574	20043,361	20216,149	20388,936	20561,724	20734,512
60	17341,591	18849,556	19792,034	20734,512	20923,007	21111,503	21299,998	21488,494	21676,989
65	17765,706	19399,335	20420,352	21441,370	21645,573	21849,777	22053,980	22258,184	22462,387
70	18032,742	19792,034	20891,591	21991,149	22211,060	22430,972	22650,883	22870,795	23090,706
75	18142,698	20027,653	21205,750	22383,848	22619,467	22855,087	23090,706	23326,325	23561,945

$$D = 175mm$$

$$d = 75 mm$$

$$I_{Mastil} = 44485443 mm^4$$

$$A = 19635 mm^2$$

Realizamos el mismo proceso en el tramo dos (ver Tabla 11. Posibles radios del mástil en el Tramo 2.), pero mantendremos el espesor de 50 mm por simplificar la construcción del mástil.

Tabla 11. Posibles radios del mástil en el Tramo 2.

D/Espesor	175	174	173	172	171	170	160	150	140
50	4,449E+07	4,352E+07	4,258E+07	4,164E+07	4,072E+07	3,982E+07	3,153E+07	2,454E+07	1,873E+07

Al tomar la decisión de emplear un mástil con sección redonda, observamos que, en el segundo tramo, solo podemos reducir 3 mm el diámetro del mástil, por lo que, para simplificar la construcción del mismo, se mantendrá el diámetro del mástil en el tramo 2 con $D = 175 mm$.

En cuanto a la perilla (ver Ilustración 32. Parámetros en la perilla. , su estudio no es necesario ya que la longitud total de esta 1'4" (0.406 m) es inferior al 6% de $h = 0.615m$.

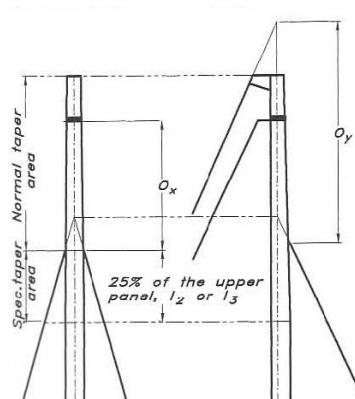


Ilustración 32. Parámetros en la perilla. (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

4.4 Diseño de la botavara

La botavara sufre constantes esfuerzos de flexión provenientes de la escota de la vela mayor y el amantillo. Y en oposición a estas fuerzas se encuentra la fuerza generada por la jarcia denominada contra.

El amantillo tiene como función variar la inclinación de la botavara y así variar el ángulo de ataque de la vela. Mientras que la contra mantiene la botavara en su posición para evitar que esta se desplace hacia arriba debido a la fuerza que genera la vela a través de la escota, y que la botavara se eleve.

El elemento que ha de soportar todos los esfuerzos que transmite la jarcia a la botavara ha de ser soportado por el pinzote y el tintero, dos elementos cuya función es unir la botavara al mástil y permitir su movimiento. Estos esfuerzos se descomponen en un componente horizontal F_h y otro componente vertical F_v . En Ilustración 33. Dimensionamiento de la botavara podemos observar los diferentes parámetros necesarios para el cálculo.

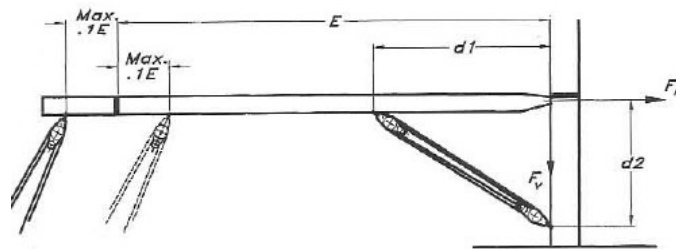


Ilustración 33. Dimensionamiento de la botavara (Lars Larsson and Rolf E Eliasson, 2000)

- $d_1 = 5.733 \text{ m}$
- $d_2 = 1.208 \text{ m}$
- $E = 5.733 \text{ m}$
- $HA = 5.514 \text{ m}$
- $\sigma_{0.2} = 39.3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

$$F_v = \frac{0.5 * RM * E}{HA * d_1} = 4446 \text{ N}$$

$$F_h = \frac{0.5 * RM * E}{HA * d_2} = 18814 \text{ N}$$

Mientras que el módulo de la sección de la botavara en sentido vertical.

$$SM_v = \frac{600 * RM * (E - d_1)}{\sigma_{0.2} * HA} = \frac{600 * 43718.227 * (5.733 - 5.733)}{39.3 * 5.514} = 75170 \text{ mm}^3$$

$$SM_h = 0.5 * SM_v = 37585 \text{ mm}^3$$

Tomamos como valores para el mástil los dos datos de los cuales disponemos, las restricciones impuestas por *Universal Rule*, las cuales se verán detalladamente más adelante.

- Toda la botavara ha de pasar por un círculo de 0.152m de diámetro. Con lo cual se buscará para cada altura de la botavara (h) su base (b) que le permitiría pasar por dicho círculo. Este parámetro se obtendrá mediante el Teorema de Pitágoras sabiendo que la hipotenusa es el radio del círculo, y uno de los catetos la altura supuesta a la botavara. Obteniendo el Ancho máximo.
- La relación entre la altura y el ancho de la botavara no puede exceder de 2:1, que nos servirá como dato de partida para el estudio de la botavara. Obteniendo así el ancho mínimo.

Se buscará por tanto diferentes aturas, con las dos restricciones en cuanto a la base (b), se inicia un estudio de las dimensiones de la botavara. Buscando como en el caso anterior, aquel que cumpla con el módulo de la sección se resaltará en rojo (ver Tabla 12. Posibles medidas de la botavara). Y buscaremos aquel que emplee un menor volumen de madera, es decir una menor área.

$$S_{botavara} = \frac{b * h^3}{6}$$

Tabla 12. Posibles medidas de la botavara

	h	96	Área		h	97	Área		h	98	Área
Ancho máx	59	9,051E+04	5664,00	Ancho máx	59	9,176E+04	5723,00	Ancho máx	58	9,299E+04	5684,00
	58	8,909E+04	5568,00		58	9,095E+04	5626,00		57	9,124E+04	5586,00
	57	8,755E+04	5472,00		57	8,939E+04	5529,00		56	8,964E+04	5488,00
	56	8,602E+04	5376,00		56	8,782E+04	5432,00		55	8,804E+04	5390,00
	55	8,448E+04	5280,00		55	8,625E+04	5335,00		54	8,644E+04	5292,00
	54	8,294E+04	5184,00		54	8,468E+04	5238,00		53	8,484E+04	5194,00
	53	8,141E+04	5088,00		53	8,311E+04	5141,00		52	8,323E+04	5096,00
	52	7,987E+04	4992,00		52	8,154E+04	5044,00		51	8,163E+04	4998,00
	51	7,834E+04	4896,00		51	7,998E+04	4947,00		50	8,003E+04	4900,00
	50	7,680E+04	4800,00		50	7,841E+04	4850,00		49	7,843E+04	4802,00
	49	7,526E+04	4704,00		49	7,684E+04	4753,00				
	48	7,373E+04	4608,00		48	7,527E+04	4656,00				
Ancho mín	48,00			Ancho mín	48,50			Ancho mín	49,00		

Podemos observar que se obtiene un valor mínimo en el área de la sección para los valores aptos de la botavara con $b = 97mm$ y $h = 48mm$, por lo tanto, tomaremos estos valores como las dimensiones de la botavara.

4.5 Diseño de las crucetas

Iniciamos el estudio de las crucetas (ver las tablas Tabla 13. Posibles diámetros para la cruceta a mitad de longitud. y Tabla 14. Posibles diámetros para la cruceta en la zona próxima al mástil), en nuestro caso tendremos dos pares de crucetas rectas. El propósito de esta estructura es doble, proporcionar sujeción a los obenques y obenquillos, los cuales proporcionan la estabilidad transversal al palo. Y dividir la longitud del palo en secciones menores de cara a la inercia que debe soportar el palo. Esto se consigue mediante el esfuerzo de compresión que aportan los obenques al palo a través de la cruceta, cuando este intenta flexionarse en sentido transversal.

Como ya se ha dicho con anterioridad, el par de crucetas superiores no aportan estabilidad transversal, sino que se limitan a aportar rigidez al palo mediante los violines.

Al no indicarse en la documentación sobre el diseño original el material del cual está constituido las crucetas se procederá a realizarlo en madera del mismo tipo que el palo, es decir picea de Stika, ya que lo más común es que ambos elementos estén contruidos con el mismo material.

Primero se obtiene el momento de inercia que deberá soportar la cruceta a la mitad de su longitud.

$$I = \frac{0.8 * C_{(n)} * S_{(n)}^2}{E * \cos \delta} mm^4$$

Siendo

- E : Módulo de elasticidad de la cruceta
- $C_{(n)}$: Componente transversal de los esfuerzos de los obenques, obtenido en el apartado 3.2.1
- $S_{(n)}$: Longitud de la cruceta, medido en el plano velico original (mm^2)
- δ : Ángulo de las crucetas con respecto a la transversal del mástil.

$$I = \frac{0.8 * 4184 * 970^2}{8480.551 * \cos(0)} = 371412 mm^4$$

En el punto más próximo al mástil, la cruceta debe tener un módulo de sección, de al menos.

$$SM = k * S_{(n)} * V_{(n)} * \cos \delta mm^4$$

Siendo

- $k: \frac{0.16}{\sigma_{0.2}}$
- $V_{(n)}: V$

$$- \sigma_{0.2} = 39.3 \frac{N}{mm^2}$$

$$SM = (4.071 * 10^{-3}) * 970 * 14188 * \cos(0) = 56031 mm^3$$

Tabla 13. Posibles diámetros para la cruceta a mitad de longitud.

D	I
50	3,068E+05
51	3,321E+05
52	3,589E+05
53	3,873E+05
54	4,174E+05
55	4,492E+05
56	4,827E+05
57	5,182E+05
58	5,555E+05
59	5,948E+05
60	6,362E+05

Tabla 14. Posibles diámetros para la cruceta en la zona próxima al mástil

D	Sm
80	5,027E+04
81	5,217E+04
82	5,413E+04
83	5,614E+04
84	5,819E+04
85	6,029E+04
86	6,244E+04
87	6,465E+04
88	6,690E+04
89	6,921E+04
90	7,157E+04

Por lo tanto, nuestra cruceta tendrá un diámetro a mitad de su longitud de al menos 52 mm y en el punto más próximo al mástil mínimo tendrá un diámetro de 82 mm. En cuanto al elemento de unión entre mástil y cruceta deberá tener al menos un momento de flexión.

$$M_s = 0.16 * S_{(n)} * V_{(n)} * \cos \delta = 2202016 \text{ Nmm}$$

4.6 Limitaciones de la norma “*Universal Rule*”

A continuación, se realizará un estudio de las limitaciones impuesta por la Norma que tuvo que cumplir la embarcación con el objetivo de obtener otros parámetros no mostrados o no expresados de forma clara por la documentación, así como comprender ciertas decisiones tomadas en el diseño original.

El área de la vela mayor se obtiene a partir de la siguiente formula

$$\text{Área mayor} = \frac{1}{2} * B * \sqrt{(P^2 - R^2)}$$

Siendo

- B: la longitud de la botavara desde la popa del mástil hasta el extremo exterior, incluido cualquier accesorio o elemento ornamental,
- P: altura de la vela mayor, se trata de la distancia entre la parte superior de la roldana más alta del mástil, con la parte superior de la botavara.
- R: distancia horizontal desde la popa del mástil por la parte superior de la botavara hasta una plomada suspendida en el puno superior de medición de P, con la embarcación flotando en paralelo a la flotación de diseño.

-

$$\text{Área mayor} = \frac{6.37 * \sqrt{(13.062^2 - 0.346^2)}}{2} = 41.588m^2$$

En cuanto a las velas dispuestas a proa del mástil, su área:

$$\text{Área vela en proa} = \frac{J * P2}{2} * 0.85$$

- J: se mide desde el lado más a proa del mástil hasta el punto donde la línea del grátil de la vela dispuesta más a proa corte la cubierta o bauprés.
- P2: altura de la vela mayor, se trata de la distancia entre la parte superior de la roldana más alta del mástil utilizando para las velas de proa o spinnaker, a cubierta.

$$\text{Área vela en proa} = \frac{3.048 * 10.770}{2} * 0.85 = 13.951m^2$$

Como ya se ha comentado con anterioridad, podemos observar como la vela dispuesta en proa de cara a la *Universal Rule* no distingue entre el uso de genova o un foque, ni se obtiene una mayor superficie velica. Aun cuando la primera dispone de considerablemente mayor superficie velica real.

El área total de la vela SA es la suma de la vela mayor y la vela de proa, en nuestro caso sería $55.539m^2$, por lo que disponer de un foque o una Génova no varía el área de la vela en cuanto a clasificación de la embarcación en una u otra categoría. Aunque complique la maniobra, el aumento sustancial de la superficie velica significa un mayor aprovechamiento del viento con vientos suaves. Lo que es una gran ventaja para la realización de regatas.

La longitud de la botavara del spinnaker: se limita al 40% de la suma de B más J más el diámetro del mástil en el cuello de cisne.

$$\text{Longitud máxima spinnaker} = (3.048 + 6.37 + 0.152) * 0.4 = 3.828m$$

Por lo que habría que recortar ligeramente el spinnaker con respecto la documentación, ya que indica que tenía una longitud de 13' (3.962m).

Otras limitaciones para tener en cuenta son los sables, la norma indica que el máximo número de sables en cualquier vela es 4. Con una longitud inferior al 10% de B o J. Además, indica que la Génova no está permitida la disposición de sables.

$$\text{Longitud sable vela mayor} = 0.637m$$

En el anexo A4 se indica una serie de limitaciones que la embarcación original ha de cumplir, y siempre que posible este proyecto cumplirán.

- Los obenques y stay serán de alambre trenzado.
- Se dispondrá de un tangón de madera.
- El mástil y botavara serán de madera.
- La botavara debe pasar a través de un círculo de 0.152m.
- La relación entre la altura y el ancho de la botavara no puede exceder de 2:1.
- Como máximo se puede disponer de 7 velas, 1 principal, 1 foque, 2 génovas, 2 spinnakers grandes y 1 spinnaker pequeño.
- Todas las velas serán construidas con paneles y no se emplearán materiales laminados en el cuerpo de ninguna vela.
- No se permiten sables en la Génova.
- $P_2 = 78\%$ de P.
- El pujamen de la Génova no puede ser mayor de 5.791m ($4.871 < 5.791m$).
- El ancho a $\frac{1}{2}$ de la altura de la Génova no puede exceder el 50% del pujamen, ($2.434m < 2.435m$).
- El ancho a media altura de la vela mayor será inferior al 61% de B ($3.453m < 3.886m$).
- El ancho máximo de la vela mayor a tres cuartos de altura no excederá el 36% de B ($1.865m < 2.293$).

Capítulo 5 – Apéndices

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

5.1 Diseño del timón

El primero de los aprendices que vamos a estudiar será el timón (ver detalle del instalado a bordo en Ilustración 34. Detalle del timón. cuya función principal es dotar de maniobrabilidad a la embarcación, creando una fuerza lateral modificando el flujo del fluido a su alrededor. Antes de continuar procederemos a particularizar el timón según varios criterios.

- Por su montaje se trata de un timón soportado al disponer de un soporte inferior en el talón del codaste, este apoyo se denomina enquilladura o tintero.
- Por su distribución, se define como un timón sin compensar, ya que toda la pala se encuentra a popa del eje de giro.
- Por su movimiento se trata de una pala móvil, ya que el eje gira todo el timón en su conjunto.
- Por su accionamiento, se trata de un timón manual, ya que el medio para producir el giro es la acción humana sobre la caña del timón.

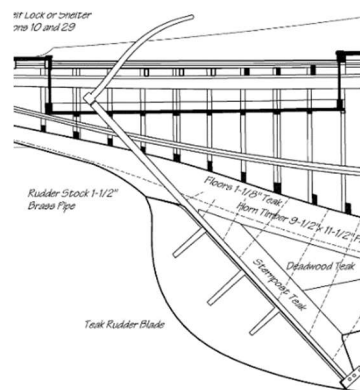


Ilustración 34. Detalle del timón. (The Model Shipwright, 2021)

Además de esta función principal, el timón ayuda a contrarrestar el abatimiento que producen las velas. La diferencia principal entre la aportación de la quilla prolongada y el timón a la hora de contrarrestar el abatimiento reside en el ángulo de ataque. Tanto quillas como orzas están diseñadas para trabajar idóneamente en ángulos de ataque

bajos. Sin embargo, el timón se diseña para tener su máximo rendimiento en ángulo de ataques elevados.

Para el estudio del timón se aplicará la (ISO 12215-8, 2009), en esta se imponen diferentes limitaciones, las primeras es relativamente sencilla, el movimiento se ha de limitar entre los $30-45^\circ$ hacia babor y estribor. Además, el movimiento axial estará limitado, es decir no se podrá realizar un momento ascendente o descendente.

Continuamos con el estudio, antes de iniciar los cálculos del par de torsión y dimensionar el timón, se ha de diferenciar entre dos tipos de timón aquellos que están suspendidos y los timones con enquillaadura, como es nuestro caso, y dentro de este se trata del Tipo II, es decir soportado por la enquillaadura y el cojinete de la enquillaadura. En la Ilustración 35. Tipos de timón según la Norma. se aprecian todos los tipos de timón considerados en la Norma.

Hay que aclarar que los valores como área, cuerdas del timón y alturas, al ser valores proporcionados por el diseño original se obtendrán mediante *Rhinoceros*, y se modificarán solamente si no cumpliesen los requisitos de la Norma.

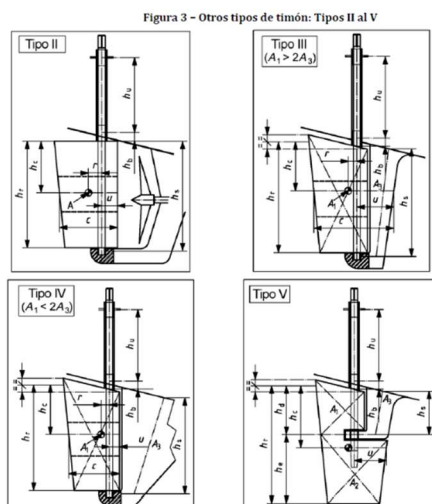


Ilustración 35. Tipos de timón según la Norma. (ISO 12215-5, 2008)

Esta disposición precisa de tres cojinetes para permitir su movimiento

- Un cojinete en la enquillaadura, con su reacción R_s .
- Una chumacera que atraviese el casco, con su reacción R_H .

- Un cojinete superior situado a nivel de la cubierta, o nicho en nuestro caso, con su reacción R_U .

El primer paso es obtener las fuerzas de diseño del timón, al tratarse de una embarcación a vela solo obtenemos la fuerza F_1 .

$$F_1 = 23 * L_{WL} * k_{SEA} * k_{LD}^2 * K_{GAP} * K_{USE} * A$$

Siendo

- $k_{SEA} = 1$ al ser una embarcación con categoría de diseño C.
- $k_{LD} = 6.15$ al ser una embarcación de categoría de diseño D.
- $k_{GAP} = 1$ al ser la separación entre el casco y la cuerda superior del timón inferior al 5% de la cuerda media del timón.
- $k_{USE} = 1$, con el objetivo de evitar inspecciones regulares del timón.
- $L_{WL} = 7.816 \text{ m}$.
- $A = 1.445 \text{ m}^2$

$$F_1 = 9825 \text{ N}$$

Continuamos con los capítulos de la bibliografía 9 (*Momento de torsión, T , sobre el timón*) y 10 (*Diseño del timón y su mecha*), ya que necesitaremos el diámetro de la mecha del timón para los cálculos del capítulo 8 *Momento de flexión y reacción en los cojinetes*. En el capítulo 9 de la bibliografía obtendremos el momento de torsión a partir de.

$$T = F_1 * r$$

Siendo

- $r = 0.155 \text{ m}$, brazo de palanca de torsión. Se toma como el mayor de $r = 0.3 * c - u = 0.155 \text{ m}$; $r_{min} = 0.1c = 0.070 \text{ m}$.
- $c = 0.699$, longitud de la cuerda del timón al nivel del centro de la superficie.
- $u = 0.055$, distancia longitudinal entre el borde de ataque del timón y el eje de la mecha, a la altura del centro de superficie.

$$T = 9824.953 * 0.155 = 1520 \text{ Nm}$$

En el capítulo 10 de la bibliografía obtendremos el diámetro requerido para la mecha del timón, aplicando el apartado correspondiente a metálica. Los esfuerzos de diseño los obtenemos en la tabla A.1, siendo para una mecha de cobre.

$$z_{eq} = \sqrt{z_b^2 + 0.75r^2}$$

Siendo

- $z_b = k_b * h_r + h_c = 1.424 \text{ m}$, brazo de palanca efectivo.
- $h_r = 1.299 \text{ m}$, altura media de la pala del timón.
- $h_c = 0.712 \text{ m}$, altura entre la parte superior del timón y el centro de su superficie.
- $k_b = \frac{h_c}{h_r} = 0.548$, coeficiente de flexión del timón.

$$z_{eq} = 1.201 \text{ m}$$

Tabla 15. Propiedades estimadas en aleación de cobre. (ISO 12215-8, 2009)

Material	Composición química	σ_y^a no soldado	σ_u^a no soldado	σ_{yw} soldado	σ_{uw} soldado	σ_d^a no soldado	σ_{dw} soldado	E Aproximado
		N/mm ²						
Aleaciones de cobre								
Bronze-Mn		245	510			245		$1,1 \times 10^5$
Bronze-Ni-Al		390	740			370		
Monel 400		350	550			275		$1,8 \times 10^5$
Monel 500		690	960			480		

A partir de estos datos obtendremos el diámetro requerido por la mecha del timón circular macizo.

$$d = 21.68 * \left(\frac{F * z_{eq}}{\sigma_d} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Siendo:

- $\sigma_d = 370 \frac{N}{mm^2}$, obtenido a partir de los datos proporcionado por *ISO 12215-8* para Bronze-Ni-Al (ver Tabla 15. Propiedades estimadas en aleación de cobre.), no se especifica que aleación usa exactamente, se optó por esta debido a su gran resistencia a la corrosión.

$$d = 21.68 * \left(\frac{9825 * 1.201}{26} \right) = 68.748 \text{ mm}$$

Se podría reducir este diámetro según la altura, ya que los requisitos del momento de flexión, M y el momento de torsión T varían según esta. Pero con el objetivo de simplificar los cálculos y los cálculos de pesos, se prescindirá de esta opción.

Además, se debe tener en cuenta que se puede instalar un tubo macizo o hueco. Tomaremos la opción de tubo hueco con el objetivo de reducir su peso. Vamos a tener en cuenta que el espesor nunca puede ser inferior a $0.1d$. y que para obtener el diámetro equivalente de la mecha tubular a la maciza se aplica:

$$d = \sqrt[3]{\frac{d_0^4 - d_i^4}{d_0}}$$

Se proporciona una tabla con los valores precalculados, pudiendo tomar un diámetro exterior $d_0 = 70mm$ y un espesor de $t = 18mm$.

Una vez disponemos de estos datos, podemos proceder con el cálculo del momento de flexión y la reacción en los cojinetes. Para ello aplicaremos el método simplificado que realiza las siguientes suposiciones.

- La distancia entre la chumacera del casco y el cojinete superior es lo suficientemente pequeña como para suponer que esta empotrada al nivel del cojinete del casco
- La mecha del timón tiene una rigidez a la torsión EI aproximadamente constante entre los tres cojinetes.

- La fuerza sobre el timón se reparte uniformemente sobre la altura media de la pala h_r .
- La separación entre la parte superior de la pala y el punto donde la mecha atraviesa el casco es pequeña.

Estas suposiciones son relativamente conservadoras, lo que origina momentos de flexión superiores a los que se obtendrían mediante el otro método, el de la Teoría de la viga continua, esto se realiza para tener un pequeño margen de seguridad al emplearse madera. Ya que la madera tiene una variación mucho mayor en sus propiedades y por tanto hay que proporcionar un margen de seguridad algo mayor. Dichos momentos de diseño situados en la enquilladura M_S y la chumacera del casco M_H se obtienen a partir de.

$$M_S = \frac{F * (h_r - h_d)^2}{2h_r}$$

Siendo:

- $h_d = 1.260 \text{ m}$, altura entre la parte superior de timón y el centro de la chumacera de la enquilladura.

$$M_S = \frac{9825 * (1.299 - 1.260)^2}{2 * 1.299} = 7 \text{ Nm}$$

$$M_H = F * h_r * \left(0.5 - \chi * \frac{h_d}{h_r}\right)$$

Para obtener el momento en la chumacera del casco necesitamos obtener primero la relación entre la reacción en el cojinete de enquilladura y la fuerza aplicada en el timón

$$\chi = \frac{\left(0.75 * \left(\frac{h_r}{h_d}\right) + 0.125 * \left(\frac{h_d}{h_r}\right) - 0.5\right)}{1 + \frac{3EI_R}{h_d^3 * k_s}}$$

Siendo:

- $k_s = \frac{3*EI_s}{L_s^3} = 5025.800$, se trata del coeficiente de rigidez de la enquillaadura, la cual se puede esquematizar como una viga empotrada en un extremo.
 - $E = 1.1 * 10^5 \frac{N}{mm^2}$, obtenido en (ISO 12215-8, 2009).
 - $I_s = 4.100 * 10^{-5} m^4$.
 - $L_s = 0.056 m$ longitud efectiva de la enquillaadura, desde su parte superior hasta el cojinete de la enquillaadura.

$$\chi = 0.397$$

$$M_H = 9825 * 1.299 * \left(0.5 - 0.397 * \frac{1.260}{1.299}\right) = 1488 Nm$$

Quedaría por obtener el momento de flexión de diseño de la enquillaadura, en el punto en que la enquillaadura emerge del casco.

$$M_H = \chi * F * L_s = 0.397 * 9825 * 0.056 = 218 Nm$$

La reacción en el cojinete en la enquillaadura R_s y la reacción en la chumacera R_H se obtienen a partir de:

$$R_s = \chi * F = 0.397 * 9825 = 3896 N = 390 daN$$

$$R_H = F - R_s = 9825 - 3896 = 5929 N = 592 daN$$

Capítulo 6 – Sistemas auxiliares

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

6.1 Introducción

En este capítulo dispondremos los sistemas auxiliares y los diferentes elementos de seguridad que deberá disponer la embarcación a bordo. Este apartado será más sencillo que en embarcaciones de un tamaño mayor, ya que no disponemos de un sistema de agua de lastre, agua potable o sanitaria, ni gran cantidad de sistemas indispensables para embarcaciones de mayor tamaño.

Para ello nos centraremos en los requisitos dispuestos en (BOE núm 113, 2003), donde se disponen los equipos de salvamento, contra incendios, navegación, seguridad, así como los de prevención de vertidos, que se han de estudiar para su instalación a bordo. Así como su modificación más actual (BOE núm 88, 2006).

En caso de que la construcción de esta embarcación fuese de competición de regata pura, y no una reconstrucción de recreo, quedaría exenta de cumplir esta Norma, teniendo que atender únicamente a los requisitos de las reglas de la competición a la cual este destinada. Esto se indica en el *Capítulo 1, Artículo 2 Punto 2.b*).

Pudiendo atenernos a la exención dispuesta en el *Capítulo 1 Artículo 2 Punto 2.g*). En la cual se indica que la embarcación original diseñada antes de 1950 y cada reproducción de la misma quedan exentos.

A partir de aquí se presentan dos opciones: o bien atenernos a la exención, por lo que según lo citado en el *Capítulo 1 Artículo 2 Punto 3*, para navegar por las zonas dispuestas en el *Capítulo 1 Artículo 3 Punto 1*, se precisará una aprobación previa de Capitanía Marítima. O bien cumplimentar los requisitos no ateniéndose a la exención.

A continuación, se presentarán los diferentes elementos que se han de presentar a bordo, y al final se discutirá la solución. Teniendo en cuenta que la presente embarcación tendrá una categoría de diseño D, como veremos en el Capítulo 11, es decir la Zona de navegación más alta que podrá acceder es la Zona 7, Navegación en aguas costeras protegidas, puertos, radas, rías, bahías abrigadas y aguas protegidas en general.

Esto tiene sentido ya que el diseño original se hizo para navegación en lagos y no para navegación oceánica.

6.2 Elementos de seguridad mínimos

Los requisitos se presentan separados en los Capítulos II, III, IV y V, y de esta forma los estudiaremos, siendo el primer Capítulo.

Capítulo II Elementos de salvamento

Artículo 6. Balsas salvavidas.

El primer Artículo presenta los requisitos en cuanto a balsas salvavidas. Debido a la Zona máxima que puede alcanzar nuestra embarcación según su categoría de diseño, quedará eximida de uso a bordo.

Artículo 7. Chalecos salvavidas.

Se dispondrá de un chaleco salvavidas por cada persona embarcada, es decir se dispondrán 4 chalecos salvavidas. Estos deberán disponer de la aprobación SOLAS, y estar homologados por la Dirección General de la Marina Mercante.

Artículo 8. Aros salvavidas.

Debido a la Zona de navegación 7, no se deberá disponer de un Aro salvavidas a bordo que disponga de luz y rabiza, disponer de la aprobación SOLAS y estar homologado por la Dirección General de la Marina Mercante. Aún así, se considera que es una buena práctica llevarlo a bordo.

Artículo 9. Señales de socorro.

Debido a la Zona de navegación 7, la embarcación queda eximida de llevar a bordo señales de socorro pirotécnicas.

Capítulo III Equipo de navegación

Artículo 10 Luces y marcas de navegación

Las embarcaciones que naveguen por las Zonas 5,6 y 7 tienen la posibilidad de instalar luces no homologadas, existiendo la posibilidad de disponerse luces alimentadas mediante pilas o batería, siempre que dichas luces estén en buen estado y se restrinja a navegación diurna exclusivamente. Para evitar la navegación diurna exclusivamente, se instalarán las correspondientes luces y marcas de navegación.

Las luces y marcas de navegación deberán cumplir los requisitos dispuesto en Convenio sobre Reglamento Internacional para prevenir los Abordajes, 1972, siendo las siguientes para una embarcación de propulsión a vela con una eslora superior a 12m e inferior a 50.

- Luz de costado, luz verde para estribor y roja para babor con un arco ininterrumpido de 112,5 grados fijadas de forma que sean visible desde proa hasta 22,5 grados a popa a través de su costado respectivo. Al disponer de menos de 20 m de eslora se puede combinar en un único farol llevado en crujía. Disponiendo de 2 millas de visibilidad.
- Luz de alcance, consiste en una luz blanca dispuesta en el punto más a popa posible, que muestra su luz sin interrupción en todo un arco del horizonte de 135 contado a partir de la popa hacia cada una de las bandas del buque. Disponiendo de una visibilidad de 2 millas.
- Además, puede disponer de dos luces de todo horizonte, dispuestas en el palo en distribución vertical, de color roja la superior y verde la inferior, con una visibilidad de 360 grados y 2 millas de distancia.

Al tratarse de un buque con propulsión a vela, cuando este maniobrando con el motor, se deberá disponer en proa, en el lugar más visible, una marca cónica con el vértice hacia abajo.

Artículo 11 Líneas de fondeo

Toda embarcación debe disponer de un sistema de fondeo eficaz con una longitud de al menos cinco esloras, es decir 61 m en nuestro caso, de los cuales al menos una eslora ha de ser un tramo de cadena, 12 m. La unión entre cadena y estacha se debe hacer a través de un grillete.

El peso del ancla será de 20 kg si es de gran poder de agarre o aumentarse un tercio si no lo fuese.

La cadena deberá tener un diámetro de 8 mm, será de acero galvanizado o equivalente.

En cuanto a la estacha deberá tener un diámetro de 12 mm si se trata de nylon y tener una carga de rotura superior a la presente en la cadena.

Artículo 12 Material náutico

Los elementos de navegación mínimos para una embarcación en la zona 7 son.

- 1 bocina de niebla, pudiendo ser de accionamiento manual o mediante gas, si este es el caso se debe disponer de un recipiente de respeto junto con una membrana.
- 1 código de señales.
- 1 espejo de señales.
- 1 pabellón nacional

Artículo 13 Material de armamento diverso

Toda embarcación de recreo debe disponer de.

- Mínimo dos estachas de amarre al muelle, con una longitud y resistencia acorde a su eslora.
- Botiquín.
- Un bichero.

Capítulo IV Medios contraincendios y de achique

Artículo 14. Extintores portátiles.

Se dispondrá de un extintor tipo 21B, así como otro adicional dispuesto cerca del emplazamiento del motor.

Artículo 20 Medios de achique

Se dispondrá de una bomba manual o eléctrica, como veremos más adelante será una bomba manual. Este apartado lo veremos con más detenimiento en el Capítulo 11 de este proyecto

Capítulo V Prevención de vertidos

No se aplica, ya que no se dispone a bordo de aceite, combustible ni aguas residuales. Al no disponer de motor de combustión, aseos o cualquier otro dispositivo que genere agua grises o negras.

6.3 Conclusión

Para finalizar el estudio de los sistemas auxiliares a bordo, al disponer de propulsión eléctrica, no se precisa de sistema de trasvase de combustible, refrigeración del propio motor o exhaustación de gases. Al no disponer de lastre líquido tampoco precisamos un sistema de trasvase de lastre, y tampoco se dispone de agua potable o sanitaria, lo que simplifica enormemente este apartado reduciéndolo a los elementos de seguridad.

Y debido a los reducidos elementos que se han de instalar, y la sencillez de su instalación, se recomienda su instalación para permitir una navegación libre dentro de la Zona de navegación 7, sin tener que pedir permisos adicionales a Capitanía Marítima o estar limitado a navegaciones diurnas. Además, dichos elementos ya se tuvieron en cuenta en las partidas de pesos con una estimación que debería ser más que suficiente para albergar todos estos elementos, 110 kg.

Capítulo 7 – Escantillonado

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

7.1 Introducción

En el presente capítulo se procederá a realizar el estudio de la cuaderna maestra, escantillonandola según los parámetros propuestos por (Det Norske Veritas , 1971). Se toma este manual como referencia, ya que realiza el escantillando específico para embarcaciones de madera.

El proceso que se realizará será el mismo que en los pasos anteriores, será comprobar que se cumple las dimensiones mínimas y modificando estas solo si no cumple con los requisitos. Hay que recordar que nos encontramos ante una estructura laminada y doblada para tomar las formas adecuadas.

La cuaderna maestra se toma como el tramo más representativo de la embarcación, razón por la que la cuaderna de la sección media, donde además se encuentra la superestructura de la caseta con la correspondiente modificación de los baos de cubierta, pasando de ser baos completos a baos parciales.

Tener en cuenta que las ecuaciones presentadas están destinadas a abeto escandinavo, por lo que en la página 15 del libro de referencia se presenta una tabla con una constante f a aplicar a los módulos de la sección según el tipo de madera (ver Tabla 16. Valor parámetro f según la madera.).

Tabla 16. Valor parámetro f según la madera. (Det Norske Veritas , 1971)

Material	f
Haya	0.85
Teca	0.90
Roble (Excepto Roble rojo americano)	0.95
Abeto	1.00
Pino	1.10
Roble rojo americano	1.15

7.2 Clara de cuadernas

Empezaremos el estudio discutiendo la clara de cuaderna. Para ello obtendremos cual sería la clara de cuaderna máxima aceptable, basándonos en el criterio indicado en *Chapter II Section 4 Frames and floors, bulkwark stanchions*.

$$s = \frac{L}{100} + 0.3 = 0.422m$$

Un requisito adicional propuesto en *Section 18 Sealers*, indica que la clara, cuando se emplea en un velero no podrá ser mayor al 0.9 de este valor. Por tanto, la clara máxima se quedaría como.

$$s_{\text{velero}} = s * 0.9 = 0.380 m$$

En el plano de formas podemos obtener que se aplica una clara de cuadernas de 0.230m, por lo tanto, cumple holgadamente los requisitos impuestos. Quedando:

$$s = 0.230 m$$

7.3 Escantillonado de cuadernas

Continuamos con el *Chapter II* para obtener el escantillonado de las cuadernas, *Frames* en terminología inglesa, primero tenemos que obtener el módulo de la sección de las cuadernas. Este criterio es el aplicado a las cuadernas en 0.4 L de la sección media, por lo que es la indicada para la cuaderna maestra.

$$W = 45 * h * s * l^2 \quad cm^3$$

Siendo

- l es la longitud determinada según lo descrito en la Ilustración 36. Diagrama del parámetro l para cuadernas en S., este valor se obtuvo midiendo en el modelo 3D.
 $l = 1.470m$

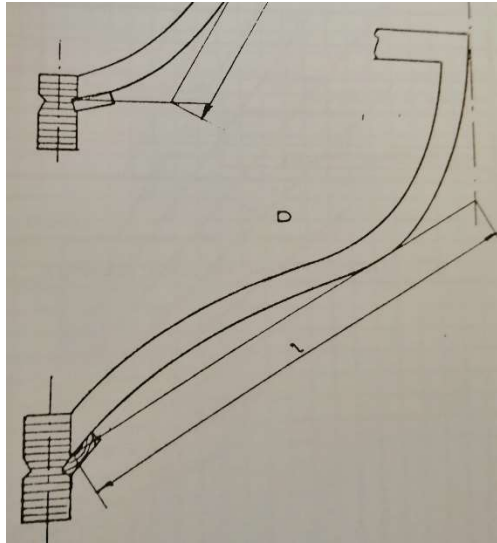


Ilustración 36. Diagrama del parámetro I para cuadernas en S. (Det Norske Veritas, 1971)

- $h = \left(\frac{L}{100} + 0.5 \right) * 2.5 + D_1$
 - L eslora de la empuñadura en metros $L = 12.205 \text{ m}$.
 - D_1 es el calado para una manga $\frac{B}{4}$ pero no será menor a $\left(D_1 = \frac{2}{3} * D = 1.519 \text{ m} \right)$ al ser sus cuadernas en forma de S. Siendo $\left(D_1 \left(\frac{B}{4} \right) = 0.924 \right)$ tomaremos $(D_1 = 1.519 \text{ m})$.

Quedando:

$$h = \left(\frac{12.205}{100} + 0.5 \right) * 2.5 + 1.519 = 3.074 \text{ m}$$

Al disponer de un refuerzo (palmejar) se aplica una constante denominada F1 con un valor de 0.9. Además, al ser las cuadernas de roble blanco se aplica un f de 0.95. Por tanto, el módulo de la sección de las cuadernas queda como.

$$W_{\text{cuaderna}} = (45 * 3.074 * 0.230 * 1.470^2) * 0.9 * 0.95 = 58.778 \text{ cm}^3$$

Obtenemos las medidas mínimas de la cuaderna entrado con estos parámetros en la Figura 6A, 6B o 6C, en las páginas 64, 65 y 66 respectivamente de libro DNV (ver Ilustración 37. Figura 6A.). O podemos

emplear la fórmula propuesta en las gráficas para obtener valores más precisos (ver Tabla 17. Resultados del escantillonado de la cuaderna.).

Una vez disponemos de las medidas mínimas de la cuaderna, las comprobaremos con las dimensiones proporcionadas por la documentación. Siendo $b = 0.044m$; $h = 0.048m$, dimensiones con las cuales se obtiene el siguiente módulo, $W = 16.896 \text{ cm}^3$, con el cual no se cumple los requisitos mínimos. Por lo que procedemos a buscar los candidatos aplicando la formula proporcionada, y obtenemos los siguientes candidatos para la cuaderna.

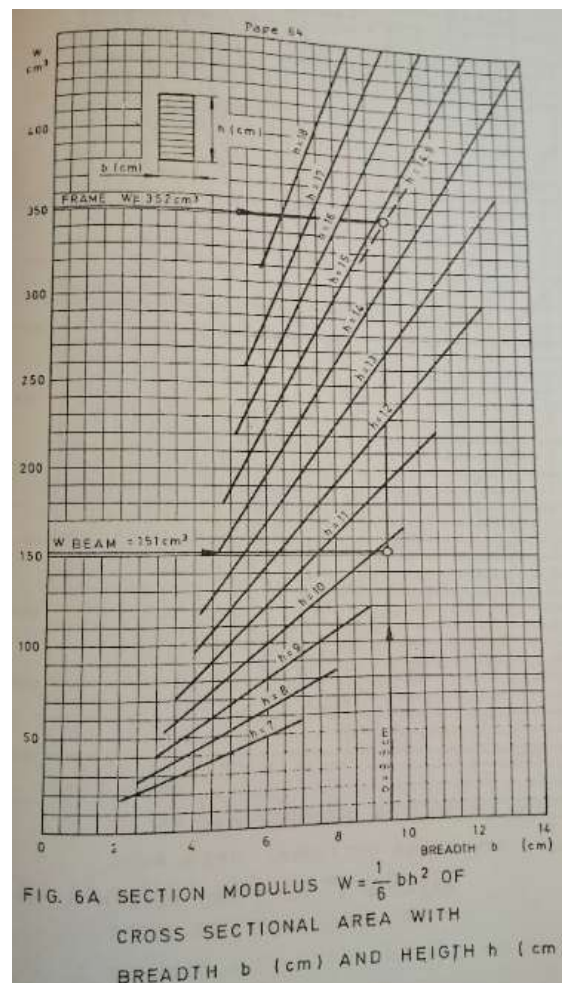


Ilustración 37. Figura 6A. (Det Norske Veritas , 1971)

Tabla 17. Resultados del escantillonado de la cuaderna.

h	7.0	7.1	7.2	7.3
b	7.6	7.0	6.8	6.6

b/h	1.028	0.985	0.945	0.907
------------	-------	-------	-------	-------

Tomaremos el valor de $b = 0.066m$; $h = 0.073m$ ya que son los valores más próximos a la relación $b/h = 0.917$ inicial, manteniendo así una estética similar.

7.4 Escantillonado de la varenga

Continuamos con el *Chapter II* para obtener el escantillonado la varenga, floor en terminología inglesa, ha de satisfacer las siguientes condiciones, el módulo de la sección ha de ser 2.25 el módulo de la cuaderna a la cual está fijada, es decir.

$$W_{Varenga} = 132.251 \text{ cm}^3$$

Dado que se aplica teca, en vez de roble blanco, se ha de aplicar un factor correcto f distinto al empleado en las cuadernas, es decir $f=0.90$ en vez de $f=0.95$, quedando.

$$W_{Varenga} = 125.638 \text{ cm}^3$$

Además, la longitud desde crujía hasta el final de la varenga en unión con la cuaderna mínima es. En la Ilustración 38. Diagrama parámetro l. podemos ver una descripción gráfica de este parámetro.

$$l = \frac{B}{10} + 0.2 = \frac{2.567}{10} + 0.2 = 0.457 \text{ m}$$

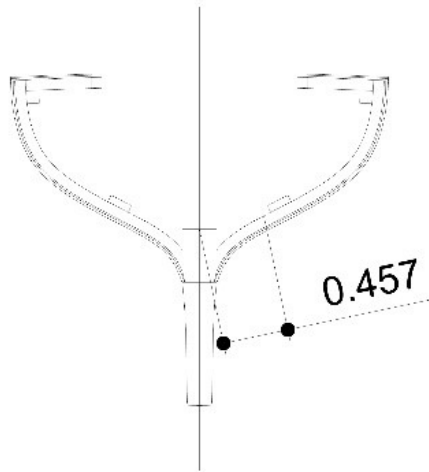


Ilustración 38. Diagrama parámetro I.

7.5 Escantillonado de la quilla

Continuamos con el escantillonado de la quilla en *Section 5 Keel and keelson*, el proceso es el mismo, obtenemos el módulo de la sección y con este parámetro acudimos al diagrama correspondiente. Previamente acudiremos a la Tabla 2 dispuesta en (Det Norske Veritas, 1971) con los valores $L * B * D = 71.398$ para obtener las dimensiones mínimas $b = 0.145 \text{ m}$ y $h = 0.160 \text{ m}$ de la quilla. Sabiendo que las dimensiones de la quilla según el plano de formas son $b = 0.241 \text{ m}$ y $h = 0.368 \text{ m}$, con una relación $\frac{h}{b} = 1.527$, y un módulo de la sección tal que.

$$W = 5439.531 \text{ cm}^3$$

Procedemos al cálculo del módulo de la sección mínimo, no se ha de aplicar la constante f , al tratarse de Abeto.

$$W = 0.5 * \frac{D_1}{D} * L * \frac{W_{Cuaderna}}{s}$$

$$W = 0.5 * \frac{0.924}{2.278} * 12.205 * \frac{58.778}{0.230} = 1039.691 \text{ cm}^3$$

Un requisito adicional es que la relación $\left(\frac{h}{b}\right)$, la cual no puede ser mayor que 3.

Observamos que los requisitos mínimos se cumplen holgadamente, por lo que, aunque podría ajustarse más el resultado y obtener una quilla con un escantillo más ajustado, daremos por valido el resultado al cumplir con requisitos mínimos. Un beneficio que puede proporcionar el disponer una quilla sobredimensionada es el bajar el centro de gravedad y reducir el uso de lastre fijo en forma de plomo. Además, este sobredimensionamiento también se debe al apoyo del mástil sobre la quilla, aunque no lo justifica totalmente.

Debido a disponer de una eslora inferior a 24m, la quilla no se ha de construir en más de dos piezas en el sentido longitudinal.

Y debido a que la altura de la quilla sobrepasa los 35cm en altura, se ha de construir en dos piezas en sentido vertical.

En la *Section 6 stem, sternpost and sole pice* podemos observar cuales son los requisitos del codaste y la roda. En la Ilustración 39. Diagrama de los parámetros presentes en la roda. podemos apreciar los parámetros necesarios para el cálculo.

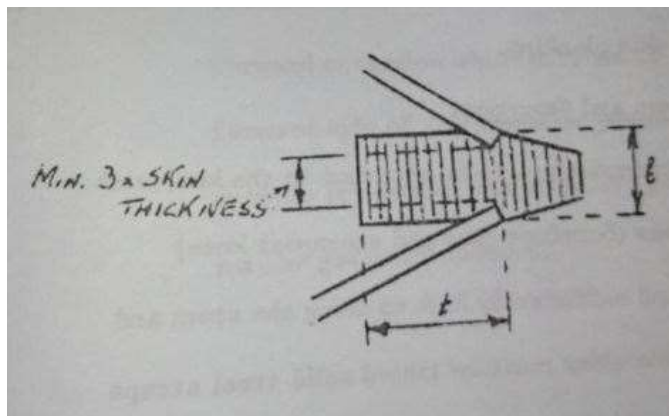


Ilustración 39. Diagrama de los parámetros presentes en la roda. (Det Norske Veritas , 1971)

El ancho y el parámetro t , descrito en la imagen, no han de ser menores al ancho de la quilla. $b = t = 0.241m$, En el tramo posterior al rebajamiento que se produce para alojar el forro, alefriz, el ancho se puede ir reduciendo para formar una sección triangular más hidrodinámica.

- En el tramo donde atravesase el propulsor el casco debe quedar a cada lado del orificio al menos un 25% de la dimensión transversal necesaria.

Siendo $b = 0.241m$, significa que si el eje es superior a 120.5 mm se tendría que aumentar el espesor de la quilla en este punto.

- La profundidad del rebajado, alefriz, ha de ser al menos 1,5 veces el espesor del forro.
- En la quilla el parámetro b medido en el punto donde se produzca el máximo rebajado, ha de ser al menos 3 veces el espesor del forro.

7.6 Escantillonado del palmejar

Procedemos con la *Section 7 Stringers* (refuerzos). En este apartado nos encontramos los requerimientos según la longitud l , recordemos que $l = 1.470m$, y la eslora de la embarcación, este elemento está construido en abeto, por lo que no se ha de modificar el resultado con la constante f .

Aunque estrictamente no deberíamos poner ningún refuerzo, ya que la dimensión mínima para disponer un refuerzo es 1,5m, se dispondrá ya que la diferencia entre nuestro parámetro y el mínimo es muy pequeña, y porque el modelo original si disponía de un refuerzo longitudinal, palmejar.

Para saber las dimensiones mínimas acudimos a la Tabla 2 presente (Det Norske Veritas , 1971), recordemos que se entra con el parámetro $L \times B \times D$ que en nuestro caso es $L * B * D = 71.398$ obtenemos que debe tener un área transversal de 93 cm^2 . En la documentación se indican las siguientes medidas, $b = 0.102m$ $t = 0.051m$, lo que nos daría un área transversal insuficiente, $A = 52.02 \text{ cm}^2$. Se opta por aumentar el ancho manteniendo el espesor, quedando por tanto un palmejar con las siguientes medidas. $b * t = 0.160 * 0.051m$

La distancia desde el punto más bajo de la cuaderna donde se situará el palmejar se obtiene para una única varenga con la siguiente relación. (ver aclaración de este parámetro en Ilustración 40. Diagrama aclaratorio del parámetro d .).

$$d = 0.40 * l = 0.588m$$

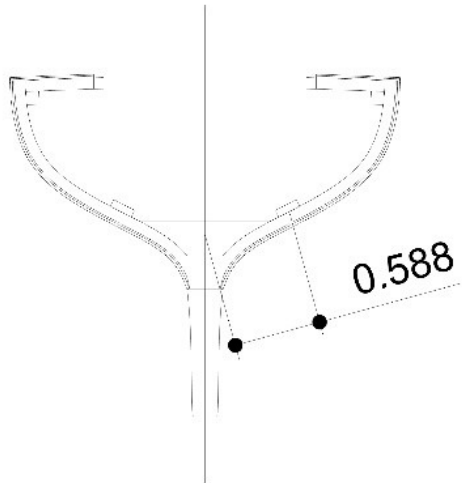


Ilustración 40. Diagrama aclaratorio del parámetro d.

Este punto más bajo se mide como el punto medio de unión entre la cuaderna y la varenga.

7.7 Escantillonado de los durmientes

En *Section 7 deck beam clamps, shelves and ceiling*, podremos escantillonar el durmiente del trancañil, elemento que realiza la función de escuadra y da apoyo a los baos de cubierta para descansar sobre las cuadernas. Las dimensiones de este elemento se obtienen en la Tabla 2 presente (Det Norske Veritas , 1971), pudiéndose reducir su área un 20% si se emplea madera laminada. Dado que empleamos abeto, no se tiene que modificar el resultado con la constante f.

En el plan original se emplean tanto *clamp* como *shelf*, al no encontrar los términos exactos más allá de durmiente de trancañil se definirán mediante la nomenclatura inglés. Las dimensiones de cada uno de los elementos no cumplen los requisitos impuestos por la DNV, razón por lo que se empleará la opción que propone la DNV, empleando únicamente un shelf ya que las cuadernas serán de madera laminada,

quedando un único elemento de abeto con las siguientes medidas, $h = t = 0.100\text{ m}$, tras la reducción del 20% del área se queda en, $h = t = 0.089\text{ m}$.

7.8 Escantillonado de baos de cubierta

En *Section 9 Beam, girders and stanchions* encontramos los parámetros que nos indican como dimensionar los baos de cubierta, para esto se nos presentan dos opciones, que los baos estén apoyados sobre la cuaderna y un longitudinal en crujía, o bien que estén apoyados directamente en las cuadernas sin ningún apoyo en crujía. Se optará por la segunda opción, ya que es la representada en el plano. El módulo de sección mínimo se obtiene a partir de la ecuación.

$$W = 50 * b * h * l * S \text{ cm}^3$$

Siendo:

- b distancia medida desde crujía hasta la mitad de la longitud del bao. $b = 1.017\text{ m}$
- $h = 0.175 * B = 0.449$; mínimo 0.5 m por tanto $h = 0.500\text{ m}$
- l la mitad de la eslora que ocupa la abertura $l = 1.380\text{ m}$.
- S distancia desde la abertura hasta el eje neutro de la cuaderna. Siendo $S = 0.504\text{ m}$

Al no disponer de apoyos en crujía, se ha de multiplicar el módulo de la sección anterior por 4. Al emplearse teca, se ha aplica $f=0.90$.

$$W = (50 * 1.017 * 0.500 * 1.380 * 0.504) * 4 * 0.90 = 63.661 \text{ cm}^3$$

Con este dato, y sabiendo que debe disponer del mismo grosor que la cuaderna, $b = 0.066\text{ m}$, buscamos una altura del bao que nos proporcione un módulo de la sección que satisfaga el mínimo. Al igual que las dimensiones de la cuaderna se puede acudir a la gráfica correspondiente o emplear la fórmula matemática con la cual se obtuvieron dichas curvas, se optó por esta opción (ver Tabla 18. Valores del escantillonado del bao de cubierta.). Obteniéndose los siguientes resultados:

$$W = \frac{1}{6} * b * h^2 \geq 63.661$$

Tabla 18. Valores del escantillonado del bao de cubierta.

h	6.6
b	7.6

Aunque podría ajustarse más el resultado, trabajando con madera es absurdo ajustar más allá del milímetro. Quedando un bao de $b * h = 0.066 * 0.076m$.

Si no se tratase de un bao dispuesto en una abertura, su modulo se obtendría de la siguiente manera.

$$W = 60 * s * h * l^2 \text{ cm}^3$$

Siendo:

- s, clara de cuaderna.
- $h = 0.175 * B = 0.449$; *mínimo 0.5 m por tanto $h = 0.5m$*
- l, longitud del bao desde el eje neutro de una cuaderna, hasta el eje neutro de la cuaderna de la banda contraria al no disponer de apoyo en crujía.

El longitudinal, denominado carlinga, que se sitúa junto a la abertura para soportar la superestructura y los baos, tiene que disponer de la misma área transversal. Por lo que, a fin de simplificar la construcción, y dado que los datos de cubierta son vagos, se construirá con la misma sección $b * h = 0.066 * 0.076m$.

Capítulo 8 – Disposición general

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

8.1 Introducción

El diseño de la embarcación prima la practicidad sobre la comodidad, esto se ve reflejado por ejemplo debajo de la cubierta, donde únicamente se disponen dos bancos. O en el nicho donde no se dispone de un asiento como tal para la tripulación.

8.2 Disposición de los elementos interiores

8.2.1 Sección de popa

Lo compone el pique de popa, con un único acceso desde cubierta mediante una abertura de 46x46 cm, para dar acceso al eje vertical del motor eléctrico y al sistema de gobierno de éste.

Este compartimento de colisión pretende impedir el embarque de agua producido por una colisión en popa teniendo una eslora desde popa de 2.074m.

8.2.2 Sección central

Aquí dispondremos de un pequeño espacio destinado a la habitabilidad, debido a los requisitos originales solo nos encontraremos con dos bancos, los cuales pueden disponer de almacenamiento en su parte inferior para albergar los elementos de navegación, cartas, compas, prismáticos...

La altura de este espacio nos indica que no es un espacio dedicado al ocio y esparcimiento, sino un espacio destinado a servir como pañol y punto de descanso puntual, ya que la altura promedio en su punto más elevado, junto a la escala de acceso, es de 1.30 m. Reduciendo esta altura conforme más a proa nos encontremos.

Aquí además se encontrarán las baterías que suministran potencia al motor principal junto con el punto de toma a tierra para su recarga. Con el objetivo de disimular su presencia lo máximo posible se dispondrán tras la escalera de acceso, en crujía, pudiéndose disponer tras un pequeño armario que disimule su presencia aún más.

A parte de estos elementos de mobiliario, no se dispone de ningún elemento adicional, quedando como punto de almacenamiento de los diferentes elementos de seguridad y los petates de la tripulación. Así como pañol para los diferentes elementos para la navegación.

Como punto de luz natural se dispone de cuatro entradas de luz en cada costado, portillos.

8.3 Disposición de los elementos en cubierta

8.3.1 Cubierta

Se trata de una cubierta corrida que permite la movilidad desde el nicho hasta los diferentes puntos de amarre y maniobra de la jarcia. No se trata de una superficie muy amplia ya que se encuentran diferentes elementos que limitan la movilidad, el nicho, la superestructura central, dos accesos al interior y los puntos de anclaje de la jarcia como cornamusas. El punto más estrecho se trata de los pasillos generados por la superestructura, dejando un corredor de unos 50 cm de promedio. Dicha estructura en su punto más elevado de la cubierta medido desde la cubierta hasta la parte alta del costado de la superestructura mide 28.5 cm.

8.3.2 Nicho

Se encuentra centrada en crujía y a popa de la embarcación, dispone de unas protecciones laterales que protegen a la tripulación de los rociones. Se trata de un espacio libre de obstáculos donde en popa se encuentra el sistema de gobierno, tanto del timón a través de la caña del mismo, como del sistema de gobierno del motor.

8.4 Disposición de los elementos de maniobra principales

Se describirán únicamente alguno de los elementos más relevantes respecto a las maniobras de la jarcia.

8.4.1 Escotero de la mayor

Se encuentra a popa del nicho permitiendo su maniobra desde el mismo y evitando enredos con otros cabos.

8.4.2 Tensor del contraestay

A la altura proel del nicho, en cada banda, nos encontramos con el tensor que permite controlar la caída de la perilla del mástil hacia proa, controlando así la tensión de la vela mayor.

8.4.3 Drizas de la vela mayor y vela de proa

Al contrario que en embarcaciones modernas, donde se dispone un winche cerca de la zona de gobierno, los puntos de escota de las drizas de las velas se encuentran en la vertical del mástil.

8.4.4 Escotero de la genova

El escotero del puño de escota de la genova se dispone en los costados del pasillo generado por la superestructura.

Capítulo 9 – Calculo de pesos y estudio de estabilidad

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

9.1 Introducción

Con el escantillonado finalizado se procede a la estimación del peso de la embarcación en diferentes condiciones de carga, así como las coordenadas del centro de gravedad de la embarcación.

Para obtener un estudio detallado se precisa conocer todos los pesos a bordo y su disposición exacta, esto supone un estudio complejo y exhaustivo. En el presente capítulo al existir elementos que no conocemos su peso exacto o su número se realizará un estudio preliminar con los pesos y disposición que si conocemos, ciertos elementos como puede ser el equipo d seguridad se les supondrá una posición que no ha de coincidir exactamente con la final, pero será lo más próxima posible.

Otro parámetro que hará que este estudio sea una estimación será la suposición de uniformidad de ciertos elementos como la madera, ya que se supondrá uniforme, siendo una suposición burda comparada con materiales más uniformes como el acero o la fibra. Al presentar la madera nudos, huecos, diferencias de densidad entre capas, entre otros. Proporcionando a la madera un rango de densidad relativamente amplio. Aun con todas estas suposiciones nos servirá para comprobar si la suposición efectuada al inicio del presente proyecto en cuanto el peso de la embarcación es correcto, ya que los pesos que faltan no deberían suponer una diferencia excesiva.

Para la determinación del Peso de Rosca se agruparán los pesos en diferentes grupos, disponiendo el peso de los elementos bien mediante ecuaciones estimadas, como el caso del forro y el mástil, o mediante los datos proporcionados por el fabricante, como el motor y la batería.

Las coordenadas del centro de gravedad de cada elemento se descomponen en tres componentes.

- LCG, posición longitudinal del centro de gravedad, tomando el punto de referencia proa y siendo positivo hacia popa.
- TCG, posición trasversal del centro de gravedad, tomando el punto de referencia la línea de crujía y positivo hacia babor.

- VCG, posición vertical del centro de gravedad, tomando como punto de referencia el punto más bajo de crujía, dispuesto en el fondo plano de la quilla corrida.

9.2 Consideraciones iniciales

Se presentarán las siguientes consideraciones con los diferentes elementos que se listan a continuación.

9.2.1 Elementos estructurales

Los elementos como el forro, cubierta, y cuadernas, entre otros se obtendrá su peso de forma estimada a partir de su volumen o área de la siguiente forma.

$$P = V * \rho$$

Siendo:

- V , volumen del elemento en cuestión.
- ρ , densidad del material que conforma el elemento.

9.2.2 Equipos y armamento

Estos elementos forman un gran porcentaje del Peso en Rosca ya que o bien son elementos voluminosos y pesados, como el mástil o el lastre fijo de plomo. O bien son pequeños elementos que debido a su gran longitud le corresponde un peso elevado como la jarcia firme.

Se tendrán las siguientes consideraciones con estos elementos.

- Velas, para estimar el peso de las velas a bordo, tanto la mayor como la Génova, se supondrá el empleo de fibra de poliéster, con una densidad $\rho = 0.650 \text{ kg/m}^2$.
- Mobiliario a bordo, se estimará su peso suponiendo que se están contrachapado marino laminado y con formas simples.
- Lastre, se supondrá el empleo de plomo con una densidad de $\rho = 11340 \text{ kg/m}^2$.
- Recordemos que el equipo de seguridad y salvamento se estimó en el Capítulo 2- Dimensionamiento, como 110 kg y supondremos

que se encuentra dentro de la bodega y dispuestos de forma que no exista un mayor peso en una banda que en otra.

9.2.3 Peso muerto

En esta embarcación se obtendrá una lista de pesos muertos muy reducida en comparación con otras embarcaciones similares, ya que no disponemos de gran parte de los elementos que lo conforman.

- Agua dulce
- Aguas grises
- Combustible
- Lastre líquido
- Consumibles de la tripulación

Por lo que a modo de refresco indicaremos las suposiciones anteriormente realizadas en el Capítulo 2- Dimensionamiento.

- Tripulación $75kg * 4 \text{ persona} = 300kg$.
- Equipaje $20 kg * \text{persona} = 80 kg$.

9.2.4 Evaluación de los pesos

Se presentarán las siguientes condiciones, que serán necesarias en el siguiente capítulo para los cálculos de estabilidad.

- Condición de embarcación en rosca.
- Condición de embarcación en carga mínima operativa.
- Condición de embarcación en máxima carga.

9.3 Listado de pesos

A continuación, se hará un desglose de los pesos de los cuales está compuesta la embarcación y de los diferentes elementos embarcados (ver Tabla 19. Distribución de pesos, superficie del forro y cubierta., Tabla 20. Distribución de pesos, cuadernas., Tabla 21. Distribución de pesos, baos., Tabla 22. Distribución de pesos, durmientes, Tabla 23. Distribución de pesos, quilla corrida., Tabla 24. Distribución de pesos, longitudinales de cubierta., Tabla 25. Distribución de pesos, equipo propulsor y de gobierno., Tabla 26. Distribución de pesos, equipo de fondeo., Tabla 27. Distribución de pesos, aparejo., Tabla 28. Distribución de pesos, jarcia.,

Tabla 29. Distribución de pesos, velamen., Tabla 30. Distribución de pesos, habitabilidad. y Tabla 31. Distribución de pesos, peso muerto.).

Tabla 19. Distribución de pesos, superficie del forro y cubierta.

	Material	A (m ²)	Espesor (m)	ρ (kg/m ³)	Forro						
					P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Costado	Teca	29,081	0,016	680	316,401	6,238	1,565	0,000	1973,711	495,168	0,000
	Cedro Rojo		0,013	370	139,880				872,569	218,912	0,000
Espejo	Teca	0,220	0,016	680	2,394	11,562	2,220	0,000	27,675	5,314	0,000
	Cedro Rojo		0,013	370	1,058				12,235	2,349	0,000
Cubierta	Teca	15,304	0,010	680	104,067	6,329	2,321	0,000	658,641	241,540	0,000
	Cedro Rojo		0,013	370	73,612				465,892	170,854	0,000
Nicho	Teca	3,639	0,010	680	24,745	8,669	2,019	0,000	214,516	49,961	0,000
	Cedro Rojo		0,013	370	17,504				151,739	35,340	0,000
Superestructura Costados	Teca	1,840	0,025	680	31,280	5,943	2,441	0,000	185,897	76,354	0,000
Superestructura Cubierta	Cedro Rojo	4,114	0,016	370	24,355	6,054	2,640	0,000	147,444	64,297	0,000
Σ					735,296				4710,319	1360,088	0,000

Tabla 20. Distribución de pesos, cuadernas.

Cuadernas	Material	Estructura resistente (Cuadernas)								
		V (m ³)	ρ (kg/m ³)	P(Kg)	LCG	VCg	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
1	Roble Blanco	0,002	710	1,420	0,504	2,410	0	0,716	3,422	0,000
2		0,003		2,130	0,702	2,354	0	1,495	5,014	0,000
3		0,004		2,840	0,931	2,304	0	2,644	6,543	0,000
4		0,005		3,550	1,193	2,258	0	4,235	8,016	0,000
5		0,005		3,550	1,422	2,223	0	5,048	7,892	0,000
6		0,006		4,260	1,653	2,186	0	7,042	9,312	0,000
7		0,006		4,260	1,889	2,149	0	8,047	9,155	0,000
8		0,007		4,970	2,108	2,107	0	10,477	10,472	0,000
9		0,008		5,680	2,339	2,065	0	13,286	11,729	0,000
10		0,008		5,680	2,517	2,027	0	14,297	11,513	0,000
11		0,009		6,390	2,807	1,983	0	17,937	12,671	0,000
12		0,010		7,100	3,032	1,942	0	21,527	13,788	0,000
13		0,010		7,100	3,259	1,903	0	23,139	13,511	0,000
14		0,011		7,810	3,491	1,864	0	27,265	14,558	0,000
15		0,011		7,810	3,718	1,824	0	29,038	14,245	0,000
16		0,012		8,520	3,949	1,785	0	33,645	15,208	0,000
17		0,013		9,230	4,179	1,747	0	38,572	16,125	0,000
18		0,013		9,230	4,412	1,710	0	40,723	15,783	0,000
19		0,014		9,940	4,632	1,675	0	46,042	16,650	0,000
20		0,014		9,940	4,869	1,645	0	48,398	16,351	0,000
21		0,015		10,650	5,097	1,618	0	54,283	17,232	0,000
22		0,015		10,650	5,322	1,588	0	56,679	16,912	0,000
23		0,016		11,360	5,562	1,560	0	63,184	17,722	0,000
24		0,016		11,360	5,788	1,538	0	65,752	17,472	0,000
25		0,016		11,360	6,020	1,529	0	68,387	17,369	0,000
26		0,016		11,360	6,280	1,522	0	71,341	17,290	0,000
27		0,017		12,070	6,479	1,521	0	78,202	18,358	0,000
28		0,017		12,070	6,709	1,523	0	80,978	18,383	0,000
29		0,016		11,360	6,938	1,533	0	78,816	17,415	0,000
30		0,160		113,600	7,169	1,550	0	814,398	176,080	0,000
31		0,016		11,360	7,398	1,571	0	84,041	17,847	0,000
32		0,015		10,650	7,628	1,596	0	81,238	16,997	0,000
33		0,015		10,650	7,860	1,625	0	83,709	17,306	0,000
34		0,014		9,940	8,089	1,659	0	80,405	16,490	0,000
35		0,014		9,940	8,318	1,696	0	82,681	16,858	0,000
36		0,013		9,230	8,547	1,733	0	78,889	15,996	0,000
37		0,012		8,520	8,778	1,772	0	74,789	15,097	0,000
38		0,011		7,810	9,009	1,813	0	70,360	14,160	0,000
39		0,011		7,810	9,237	1,854	0	72,141	14,480	0,000
40		0,010		7,100	9,468	1,893	0	67,223	13,440	0,000
41		0,009		6,390	9,699	1,932	0	61,977	12,345	0,000
42		0,008		5,680	9,929	1,970	0	56,397	11,190	0,000
43		0,008		5,680	10,158	2,007	0	57,697	11,400	0,000
44		0,007		4,970	10,388	2,045	0	51,628	10,164	0,000
45		0,006		4,260	10,619	2,083	0	45,237	8,874	0,000
46		0,005		3,550	10,849	2,120	0	38,514	7,526	0,000
47		0,004		2,840	11,079	2,157	0	31,464	6,126	0,000
48		0,004		2,840	11,285	2,191	0	32,049	6,222	0,000
Σ				466,470				2976,030	798,710	0,000

Tabla 21. Distribución de pesos, baos.

Bao	Material	V (m³)	ρ (kg/m³)	Estructura resistente (Baos)						
				P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
1	Teca	0,001	680	0,680	0,501	2,487	0,000	0,341	1,691	0,000
2		0,001		0,680	0,729	2,474	0,000	0,496	1,682	0,000
3		0,002		1,360	0,959	2,462	0,000	1,304	3,348	0,000
4		0,002		1,360	1,189	2,449	0,000	1,617	3,331	0,000
5		0,003		2,040	1,149	2,435	0,000	2,344	4,967	0,000
6		0,003		2,040	1,649	2,422	0,000	3,364	4,941	0,000
7		0,004		2,720	1,879	2,409	0,000	5,111	6,552	0,000
8		0,004		2,720	2,109	2,396	0,000	5,736	6,517	0,000
9		0,005		3,400	2,339	2,385	0,000	7,953	8,109	0,000
10		0,005		3,400	2,567	2,373	0,000	8,728	8,068	0,000
11		0,006		4,080	2,799	2,361	0,000	11,420	9,633	0,000
12		0,006		4,080	3,029	2,351	0,000	12,358	9,592	0,000
13		0,005		3,400	3,259	2,339	0,000	11,081	7,953	0,000
14		0,007		4,760	3,489	2,330	0,000	16,608	11,091	0,000
15		0,008		5,440	3,719	2,326	0,000	20,231	12,653	0,000
16		0,008		5,440	3,949	2,318	0,000	21,483	12,610	0,000
17		0,007		4,760	4,147	2,311	0,000	19,740	11,000	0,000
18		0,009		6,120	4,409	2,305	0,000	26,983	14,107	0,000
19		0,004		2,720	4,639	2,293	0,000	12,618	6,237	0,000
20		0,004		2,720	4,869	2,287	0,000	13,244	6,221	0,000
21		0,004		2,720	5,099	2,281	0,000	13,869	6,204	0,000
22		0,004		2,720	5,329	2,274	0,000	14,495	6,185	0,000
23		0,004		2,720	5,559	2,268	0,000	15,120	6,169	0,000
24		0,004		2,720	5,789	2,263	0,000	15,746	6,155	0,000
25		0,004		2,720	6,019	2,258	0,000	16,372	6,142	0,000
26		0,004		2,720	6,249	2,255	0,000	16,997	6,134	0,000
27		0,004		2,720	6,479	2,251	0,000	17,623	6,123	0,000
28		0,004		2,720	6,709	2,270	0,000	18,248	6,174	0,000
29		0,004		2,720	6,939	2,243	0,000	18,874	6,101	0,000
30		0,004		2,720	7,169	2,241	0,000	19,500	6,096	0,000
31		0,011		7,480	7,399	2,249	0,000	55,345	16,823	0,000
32		0,011		7,480	7,627	2,244	0,000	57,050	16,785	0,000
33		0,006		4,080	7,858	2,238	0,000	32,061	9,131	0,000
34		0,006		4,080	8,089	2,237	0,000	33,003	9,127	0,000
35		0,006		4,080	8,318	2,237	0,000	33,937	9,127	0,000
36		0,006		4,080	8,548	2,236	0,000	34,876	9,123	0,000
37		0,005		3,400	8,778	2,235	0,000	29,845	7,599	0,000
38		0,005		3,400	9,015	2,234	0,000	30,651	7,596	0,000
39		0,005		3,400	9,239	2,233	0,000	31,413	7,592	0,000
40		0,004		2,720	9,469	2,233	0,000	25,756	6,074	0,000
41		0,008		5,440	9,699	2,239	0,000	52,763	12,180	0,000
42		0,005		3,400	9,929	2,237	0,000	33,759	7,606	0,000
43		0,007		4,760	10,144	2,240	0,000	48,285	10,662	0,000
44		0,006		4,080	10,389	2,240	0,000	42,387	9,139	0,000
45		0,006		4,080	10,618	2,242	0,000	43,321	9,147	0,000
46		0,005		3,400	10,846	2,245	0,000	36,876	7,633	0,000
47		0,003		2,040	11,075	2,250	0,000	22,593	4,590	0,000
48		0,003		2,040	11,305	2,256	0,000	23,062	4,602	0,000
Σ				164,560				1036,586	376,323	0,000

Tabla 22. Distribución de pesos, durmientes

Durmientes	Material	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	Durmientes						
				P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
1	Abeto Douglas	0,001	530	0,530	0,506		0,000	0,268	0,000	0,000
2		0,001		0,530	0,727		0,000	0,385	0,000	0,000
3		0,001		0,530	0,964		0,000	0,511	0,000	0,000
4		0,001		0,530	1,194		0,000	0,633	0,000	0,000
5		0,001		0,530	1,421		0,000	0,753	0,000	0,000
6		0,001		0,530	1,650		0,000	0,875	0,000	0,000
7		0,001		0,530	1,874		0,000	0,993	0,000	0,000
8		0,001		0,530	2,110		0,000	1,118	0,000	0,000
9		0,001		0,530	2,340		0,000	1,240	0,000	0,000
10		0,001		0,530	2,542		0,000	1,347	0,000	0,000
11		0,001		0,530	2,801		0,000	1,485	0,000	0,000
12		0,001		0,530	3,032		0,000	1,607	0,000	0,000
13		0,001		0,530	3,268		0,000	1,732	0,000	0,000
14		0,001		0,530	3,384		0,000	1,794	0,000	0,000
15		0,001		0,530	3,729		0,000	1,976	0,000	0,000
16		0,001		0,530	3,958		0,000	2,098	0,000	0,000
17		0,001		0,530	4,196		0,000	2,224	0,000	0,000
18		0,001		0,530	4,416		0,000	2,340	0,000	0,000
19		0,001		0,530	4,644		0,000	2,461	0,000	0,000
20		0,001		0,530	4,872		0,000	2,582	0,000	0,000
21		0,001		0,530	5,101		0,000	2,704	0,000	0,000
22		0,001		0,530	5,330		0,000	2,825	0,000	0,000
23		0,001		0,530	5,559		0,000	2,946	0,000	0,000
24		0,001		0,530	5,789		0,000	3,068	0,000	0,000
25		0,001		0,530	6,019		0,000	3,190	0,000	0,000
26		0,001		0,530	6,249		0,000	3,312	0,000	0,000
27		0,001		0,530	6,479		0,000	3,434	0,000	0,000
28		0,001		0,530	6,709		0,000	3,556	0,000	0,000
29		0,001		0,530	6,940		0,000	3,678	0,000	0,000
30		0,001		0,530	7,169		0,000	3,800	0,000	0,000
31		0,001		0,530	7,399		0,000	3,921	0,000	0,000
32		0,001		0,530	7,628		0,000	4,043	0,000	0,000
33		0,001		0,530	7,852		0,000	4,162	0,000	0,000
34		0,001		0,530	8,086		0,000	4,286	0,000	0,000
35		0,001		0,530	8,314		0,000	4,406	0,000	0,000
36		0,001		0,530	8,540		0,000	4,526	0,000	0,000
37		0,001		0,530	8,766		0,000	4,646	0,000	0,000
38		0,001		0,530	9,008		0,000	4,774	0,000	0,000
39		0,001		0,530	9,238		0,000	4,896	0,000	0,000
40		0,001		0,530	9,468		0,000	5,018	0,000	0,000
41		0,001		0,530	9,698		0,000	5,140	0,000	0,000
42		0,001		0,530	9,927		0,000	5,261	0,000	0,000
43		0,001		0,530	10,151		0,000	5,380	0,000	0,000
44		0,001		0,530	10,380		0,000	5,501	0,000	0,000
45		0,001		0,530	10,607		0,000	5,622	0,000	0,000
46		0,001		0,530	10,731		0,000	5,687	0,000	0,000
47		0,001		0,530	11,075		0,000	5,870	0,000	0,000
48		0,001		0,530	11,305		0,000	5,992	0,000	0,000
Σ				25,440				150,067	0,000	0,000

Tabla 23. Distribución de pesos, quilla corrida.

Quilla y prolongación										
	Material	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Quilla	Abeto	0,287	460	132,020	4,908	1,201	0,000	647,954	158,556	0,000
Deadwood quilla	Teca	0,012	680	8,160	6,597	1,038	0,000	53,832	8,470	0,000
Horn timber	Teca	0,188	680	127,840	8,487	1,380	0,000	1084,978	176,419	0,000
Codaste	Teca	0,015	680	10,2	8,039	0,734	0,000	81,998	7,487	0,000
Relleno quilla	Teca	0,001	680	0,68	4,919	1,038	0,000	3,345	0,706	0,000
Lastre plomo	Plomo	0,204	11340	2313,36	6,398	0,406	0,000	14800,877	939,224	0,000
DeadWood	Teca	0,022	680	14,96	7,735	0,906	0,000	115,716	13,554	0,000
Σ				2607,220				16788,699	1304,416	0,000

Tabla 24. Distribución de pesos, longitudinales de cubierta.

Estructura resistente (Longitudinales de cubierta)										
	Material	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Abertura Proa	Teca	0,004	680	2,720	3,258	2,346	0,000	8,862	6,381	0,000
Abertura Palo		0,004		2,720	4,180	2,318	0,000	11,370	6,305	0,000
Superestructura		0,029		19,720	5,900	2,272	0,000	116,348	44,804	0,000
Nicho		0,020		13,600	8,664	2,245	0,000	117,830	30,532	0,000
Abertura Motor		0,004		2,720	9,927	2,244	0,000	27,001	6,104	0,000
Σ				41,480				281,411	94,126	0,000

Tabla 25. Distribución de pesos, equipo propulsor y de gobierno.

Equipo propulsor y de gobierno										
	Material	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Motor				18,000	9,775	1,429	0,000	175,950	25,722	0,000
Pala del timón	Teca	0,015	680	10,200	8,317	0,646	0,000	84,833	6,589	0,000
Caña del timón	Teca	0,001	680	0,680	9,084	2,246	0,000	6,177	1,527	0,000
Mecha del timón	Bronce-Ni-Al	0,007	7580	53,060	8,428	2,246	0,000	447,190	119,173	0,000
Baterías motor				126,600	7,405	1,523	0,000	937,473	192,812	0,000
Σ				208,540				1651,623	345,823	0,000

Tabla 26. Distribución de pesos, equipo de fondeo.

Equipo de fondeo										
	Material	Longitud (m)	(kg/m)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Ancla	Acero			20,000	9,566	0,017	0,000	191,320	0,340	0,000
Cadena	Acero	12,000	1,400	16,800	9,566	0,017	0,000	160,709	0,286	0,000
Estacha poliéster	Poliéster	48,000	0,048	2,304	9,566	0,017	0,000	22,040	0,039	0,000
Σ				39,104				374,069	0,665	0,000

Tabla 27. Distribución de pesos, aparejo.

Aparejo										
	Material	V (m³)	ρ (kg/m³)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Mástil	Abeto Stika	0,271	425	115,175	4,310	8,545	0,000	496,404	984,170	0,000
Botavara	Abeto Stika	0,030	425	12,750	7,388	3,494	0,000	94,197	44,549	0,000
Crucetas	Abeto Stika	0,004	425	1,700	4,311	8,575	0,000	7,329	14,578	0,000
Violines	Abeto Stika	0,004	425	1,700	4,414	11,985	0,000	7,504	20,375	0,000
Violín Proa	Abeto Stika	0,002	425	0,850	13,486	4,083	0,000	11,463	3,471	0,000
Asiento mástil	Teca	0,025	680	17,000	4,268	1,590	0,000	72,556	27,030	0,000
Σ				149,175				689,453	1094,171	0,000

Tabla 28. Distribución de pesos, jarcia.

Jarcia										
	Material	L (m)	(kg/m)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Estay de popa		16,034	0,124	1,988	8,406	9,411	0,000	16,713	18,711	0,000
Estay de proa		13,414	0,317	4,252	2,133	8,950	0,000	9,070	38,058	0,000
Estay Interior		11,392	0,317	3,611	2,652	7,952	0,000	9,577	28,717	0,000
Runner		21,304	0,178	3,792	5,815	8,071	0,000	22,051	30,606	0,000
Burda y medio violín		19,461	0,495	9,633	4,328	7,187	0,000	41,692	69,234	0,000
Obeque		12,523	0,971	12,160	4,310	5,466	0,000	52,409	66,466	0,000
Violín		15,257	0,495	7,552	4,418	12,308	0,000	33,366	92,953	0,000
Violín proa		3,011	0,495	1,490	4,215	15,042	0,000	6,282	22,419	0,000
Σ				44,480				191,160	367,163	0,000

Tabla 29. Distribución de pesos, velamen.

Vela										
	Material	A (m ²)	(kg/m ²)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Vela Mayor	Fibra de poliéster	42,836	0,65	27,843	6,251	7,904	0	174,049	220,074	0
Génova		25,253	0,65	16,414	3,572	5,978	0	58,632	98,126	0
Σ				44,258				232,682	318,200	0,000

Tabla 30. Distribución de pesos, habitabilidad.

Habitabilidad										
	Material	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Asiento 1				13,000	6,401	1,503	0,624	83,213	19,539	8,112
Asiento 2				13,000	6,401	1,503	-0,624	83,213	19,539	-8,112
Escalera de acceso	Teca	0,009	680	6,120	7,230	1,779	0,000	44,248	10,887	0,000
Σ				32,120				210,674	49,965	0,000

Tabla 31. Distribución de pesos, peso muerto.

Peso muerto										
	Material	V (m ³)	ρ (kg/m ³)	P(Kg)	LCG	VCG	TCG	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Tripulante				75,000	8,825	2,824	0,375	661,875	211,800	28,125
Tripulante 2				75,000	8,825	2,824	-0,375	661,875	211,800	-28,125
Tripulante 3				75,000	8,012	2,824	0,375	600,900	211,800	28,125
Tripulante 4				75,000	8,012	2,824	-0,375	600,900	211,800	-28,125
Pertrechos tripulación				80,000	5,020	1,424	0,000	401,600	113,920	0,000
Equipo de seguridad				110,000	5,020	1,511	0,000	552,200	166,210	0,000
Σ				490,000				3479,350	1127,330	0,000

9.4 Condiciones de carga

Una vez disponemos de todas las partidas de peso posibles, se procede a calcular el sumatorio de pesos y su centro de gravedad conjunto, teniendo en cuenta para cada condición de carga los pesos correspondientes.

Las condiciones de carga se dispondrán con los elementos dispuestos en cada condición de carga atendiendo a la (ISO 8666, 2016).

9.4.1 Condición de embarcación en rosca

Los elementos que han de incluirse en este apartado son los siguientes (ver Tabla 32. Condición de embarcación en rosca):

- Elementos estructurales, incluyendo la quilla corrida, timón y lastre.
- Estructura interior y mobiliario.
- Motores y sistema de baterías.
- Equipos instalados a bordo de forma permanente como son los equipos de seguridad.
- Sistema de fondeo
- Mástil, botavara, jarcia y velas.

Tabla 32. Condición de embarcación en rosca

Condición de embarcación en rosca				
Elemento	P	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Forro	735,296	4710,319	1360,088	0,000
Cuadernas	466,470	2976,030	798,710	0,000
Baos	164,560	1036,586	376,323	0,000
Durmientes	25,440	150,067	0,000	0,000
Longitudinales cubierta	41,480	281,411	94,126	0,000
Equipos	208,540	1651,623	345,823	0,000
Equipo de fondeo	39,104	374,069	0,665	0,000
Aparejo	149,175	689,453	1094,171	0,000
Jarcia	44,480	191,160	367,163	0,000
Vela	44,258	232,682	318,200	0,000
Quilla	2607,220	16788,699	1304,416	0,000
Habitabilidad	32,120	210,674	49,965	0,000
Equipo seguridad	110,000	552,200	166,210	0,000
Σ	4668,142	29844,973	6275,860	0,000

9.4.2 Condición de embarcación en carga mínima operativa

Se trata de la condición de embarcación en rosca con la adición de (ver Tabla 33. Condición de carga mínima operativa.):

- Tripulación mínima, que atendiendo a lo indicado en la (ISO 8666, 2016) para la eslora de nuestra embarcación le corresponde un peso por tripulante 75kg, quedando un peso total de 150kg.

- Y el equipaje de estos tripulantes, que como se indicó con anterioridad son 20 kg por tripulante.

Tabla 33. Condición de carga mínima operativa.

Condición de carga mínima operativa				
Elemento	P	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Peso en rosca	4668,142	29844,973	6275,860	0,000
Tripulación mínima	150,000	1323,750	423,600	0,000
Pertrechos mínima	40,000	200,800	56,960	0,000
Σ	4858,142	31369,523	6756,420	0,000

9.4.3 Condición de embarcación en máxima carga

Debido a la propulsión eléctrica y eólica, y la falta de tanques líquidos, únicamente se ha de añadir a la condición anterior el resto de la tripulación y los pertrechos (ver Tabla 34. Condición de máxima carga.).

Tabla 34. Condición de máxima carga.

Condición de máxima carga				
Elemento	P	M.LCG	M.VCG	M.TCG
Peso en rosca	4668,142	29844,973	6275,860	0,000
Tripulación mínima	300,000	2525,550	847,200	0,000
Pertrechos mínima	80,000	401,600	113,920	0,000
Σ	5048,142	32772,123	7236,980	0,000

Podemos observar una discrepancia entre el peso obtenido por medición directa con la cual se parte en este proyecto, y el peso final obtenido, esto se debe a pesos no considerados, como los clavos y pernos de fijación de los tablones del forro a la estructura resistente, elementos de la jarcia y aparejo entre otros.

9.5 Centros de gravedad

Una vez disponemos de todos los pesos para cada condición de carga y el sumatorio de momentos en cada condición, procedemos a obtener el centro de gravedad para cada una de ellas (ver Tabla 35. Centro de gravedad en condición de rosca., Tabla 36. Centro de gravedad en condición de carga mínima operativa. y Tabla 37. Centro de gravedad en condición de máxima carga.).

Para ello se divide para cada coordenada su respectivo sumatorio de momentos con el sumatorio de pesos, obteniendo. A fin de simplificar su lectura se mantiene la nomenclatura de los momentos, siendo:

- Lg, la posición longitudinal del centro de gravedad, desde proa.
- Vg, la posición vertical del centro de gravedad, desde el fondo de la embarcación.
- Tg, la posición transversal del centro de gravedad desde crujía.

9.5.1 Centro de gravedad en embarcación en rosca

Tabla 35. Centro de gravedad en condición de rosca.

Centro de gravedad	
Lg	6,393
Vg	1,344
Tg	0,000

9.5.2 Centro de gravedad en carga mínima operativa

Tabla 36. Centro de gravedad en condición de carga mínima operativa.

Centro de gravedad	
Lg	6,457
Vg	1,391
Tg	0,000

9.5.3 Centro de gravedad en máxima carga

Tabla 37. Centro de gravedad en condición de máxima carga.

Centro de gravedad	
Lg	6,492
Vg	1,434
Tg	0,000

Capítulo 10 – Estudio de estabilidad

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

10.1 Introducción

Una vez disponemos de la estimación del peso de la embarcación y su centro de gravedad procedemos con el estudio de estabilidad, apartado requerido para el capítulo siguiente donde se estudiará la posibilidad de cumplir la normativa actual. Ya que según los resultados de este apartado se obtendrá una categoría de diseño u otra, con los consecuentes requisitos para cada categoría. Los valores como el francobordo, la altura hasta una abertura inundable entre otros serán los parámetros determinantes en el capítulo siguiente.

En este capítulo no mostraremos todos los puntos que se deberían estudiar, para evitar repeticiones, ya que se deben estudiar en el capítulo final. Y con el objeto de no repetir información y considerando que dispuestos en el capítulo siguiente su lectura será más sencilla no se mostrarán en el actual capítulo, estudiando:

- Curvas hidrostáticas.
- Curvas KN.

Para obtener estas curvas se introduce el modelo 3D en *Maxsurf Stability*, y adjudicamos unas condiciones de carga obtenidas anteriormente. Así como puntos clave como son las posibles entradas de agua correspondientes a los extremos de la abertura que da acceso a la bodega, obteniéndose los siguientes resultados.

10.2 Equilibrio hidrostático

10.2.1 Equilibrio hidrostático en condición en rosca

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	4,668	4,668			-6,393	0,000	0,000	1,344	User Specified
Total Loadgroup			4,668	0,000	0,000	-6,393	0,000	0,000	1,344	
FS correction								0,288		
VCG fluid								0,288		

Draft Amidships m	1,698
Displacement t	4,668
Heel deg	0,0
Draft at FP m	1,683
Draft at AP m	1,712
Draft at LCF m	1,699
Trim (+ve by stern) m	0,029
WL Length m	7,350
Beam max extents on WL m	2,347
Wetted Area m ²	20,618
Waterpl. Area m ²	12,506
Prismatic coeff. (Cp)	0,478
Block coeff. (Cb)	0,153
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,322
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,725
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-6,389
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-6,360
KB m	1,370
KG fluid m	0,288
BMt m	0,893
BML m	8,471
GMT corrected m	1,976
GML m	9,553
KMt m	2,264
KML m	9,841
Immersion (TPc) tonne/cm	0,128
MTc tonne.m	0,057
RM at 1deg = GMT.Disp.sin(1) tonne.m	0,161
Max deck inclination deg	0,2122
Trim angle (+ve by stern) deg	0,2122

Key point	Type	Freeboard m
Deck Edge	Downflooding point	0,581
Acceso bodega Estribor	Downflooding point	0,594
Acceso bodega Babor	Downflooding point	0,594

10.2.2 Equilibrio hidrostático en condición mínima operativa

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	4,668	4,668			-6,393	0,000	1,344	0,000	User Specified
Tripulante 1	1	0,075	0,075			-8,825	-0,375	2,824	0,000	User Specified
Tripulante 2	1	0,075	0,075			-8,825	0,375	2,824	0,000	User Specified
Pertrechos	1	0,040	0,040			-5,020	0,000	1,424	0,000	User Specified
Total Loadgroup			4,858	0,000	0,000	-6,457	0,000	1,390	0,000	
FS correction								0,000		
VCG fluid								1,390		

Draft Amidships m	1,709
Displacement t	4,858
Heel deg	0,0
Draft at FP m	1,664
Draft at AP m	1,755
Draft at LCF m	1,714
Trim (+ve by stern) m	0,091
WL Length m	7,445
Beam max extents on WL m	2,368
Wetted Area m ²	21,028
Waterpl. Area m ²	12,844
Prismatic coeff. (Cp)	0,478
Block coeff. (Cb)	0,154
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,325
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,729
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-6,457
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-6,461
KB m	1,384
KG fluid m	1,390
BMT m	0,900
BML m	8,621
GMt corrected m	0,893
GML m	8,615
KMt m	2,283
KML m	10,005
Immersion (TPc) tonne/cm	0,132
MTc tonne.m	0,054
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,076
Max deck inclination deg	0,6696
Trim angle (+ve by stern) deg	0,6696

Key point	Type	Freeboard m
Deck Edge	Downflooding point	0,569
Acceso bodega Estribor	Downflooding point	0,572
Acceso bodega Babor	Downflooding point	0,572

10.2.3 Equilibrio hidrostático en condición carga máxima

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	4,668	4,668			-6,393	0,000	1,344	0,000	User Specified
Tripulante 1	1	0,075	0,075			-8,825	0,375	2,824	0,000	User Specified
Tripulante 2	1	0,075	0,075			-8,825	-0,375	2,824	0,000	User Specified
Tripulante 3	1	0,075	0,075			-8,012	0,375	2,824	0,000	User Specified
Tripulante 4	1	0,075	0,075			-8,012	-0,375	2,824	0,000	User Specified
Pertrechos	1	0,080	0,080			-5,020	0,000	1,424	0,000	User Specified
Total Loadgroup			5,048	0,000	0,000	-6,492	0,000	1,433	0,000	
FS correction								0,000		
VCG fluid								1,433		

Draft Amidships m	1,722
Displacement t	5,048
Heel deg	0,0
Draft at FP m	1,661
Draft at AP m	1,783
Draft at LCF m	1,729
Trim (+ve by stern) m	0,123
WL Length m	7,556
Beam max extents on WL m	2,385
Wetted Area m ²	21,423
Waterpl. Area m ²	13,157
Prismatic coeff. (Cp)	0,477
Block coeff. (Cb)	0,155
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,328
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,730
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-6,492
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-6,516
KB m	1,397
KG fluid m	1,433
BMt m	0,901
BML m	8,769
GMT corrected m	0,865
GML m	8,733
KMt m	2,298
KML m	10,165
Immersion (TPc) tonne/cm	0,135
MTc tonne.m	0,056
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,076
Max deck inclination deg	0,8993
Trim angle (+ve by stern) deg	0,8993

Key point	Type	Freeboard m
Deck Edge	Downflooding point	0,557
Acceso bodega Estribor	Downflooding point	0,554
Acceso bodega Babor	Downflooding point	0,554

10.3 Estabilidad

10.3.1 Estabilidad en condición en rosca

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	4,668	4,668			-6,393	0,000	0,000	1,344	User Specified
Total Loadgroup			4,668	0,000	0,000	-6,393	0,000	0,000	1,344	
FS correction								0,288		
VCG fluid								0,288		

Heel to Port deg	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	88,4
GZ m	0,000	0,340	0,659	0,949	1,182	1,354	1,477	1,580	1,699	1,677
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	1,7107	6,7287	14,8045	25,5083	38,2315	52,4199	67,6844	84,1249	98,3851
Displacement t	4,668	4,668	4,668	4,668	4,668	4,668	4,668	4,668	4,668	4,668
Draft at FP m	1,699	1,685	1,645	1,572	1,473	1,343	1,153	0,809	-0,096	-10,481
Draft at AP m	1,699	1,685	1,645	1,572	1,473	1,343	1,153	0,809	-0,096	-10,481
WL Length m	7,366	7,257	7,124	7,245	7,507	7,907	8,479	9,225	10,056	10,426
Beam max extents on WL m	2,346	2,300	2,211	2,072	1,784	1,636	1,806	2,262	2,691	1,544
Wetted Area m ²	20,612	20,539	20,424	20,517	21,091	21,692	22,176	21,869	19,678	19,377
Waterpl. Area m ²	12,487	12,354	12,116	11,824	10,803	10,070	10,103	11,041	9,857	8,160
Prismatic coeff. (Cp)	0,477	0,486	0,500	0,497	0,492	0,482	0,464	0,441	0,458	0,460
Block coeff. (Cb)	0,153	0,161	0,181	0,212	0,281	0,367	0,400	0,269	0,187	0,297
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-6,358	-6,373	-6,412	-6,464	-6,503	-6,521	-6,523	-6,503	-6,448	-6,416
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-6,316	-6,333	-6,378	-6,421	-6,396	-6,368	-6,357	-6,330	-6,157	-5,932
Max deck inclination deg	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	88,4000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg	Freeboard at 0,0 deg m	Freeboard at 10,0 deg m	Freeboard at 20,0 deg m	Freeboard at 30,0 deg m
Margin Line (immersion pos = -7,319 m)		23,9	n/a	0,470	0,266	0,069	-0,110
Deck Edge (immersion pos = -7,319 m)		27,5	n/a	0,545	0,340	0,138	-0,047
Acceso bodega Babor	Downflooding point	88,4	0	0,591	0,533	0,484	0,443

Key point	Freeboard at 40,0 deg m	Freeboard at 50,0 deg m	Freeboard at 60,0 deg m	Freeboard at 70,0 deg m	Freeboard at 80,0 deg m	Freeboard at 88,4 deg m
Margin Line (immersion pos = -7,319 m)	-0,277	-0,439	-0,592	-0,733	-0,865	-0,927
Deck Edge (immersion pos = -7,319 m)	-0,222	-0,394	-0,558	-0,710	-0,855	-0,927
Acceso bodega Babor	0,396	0,335	0,260	0,171	0,063	0,000

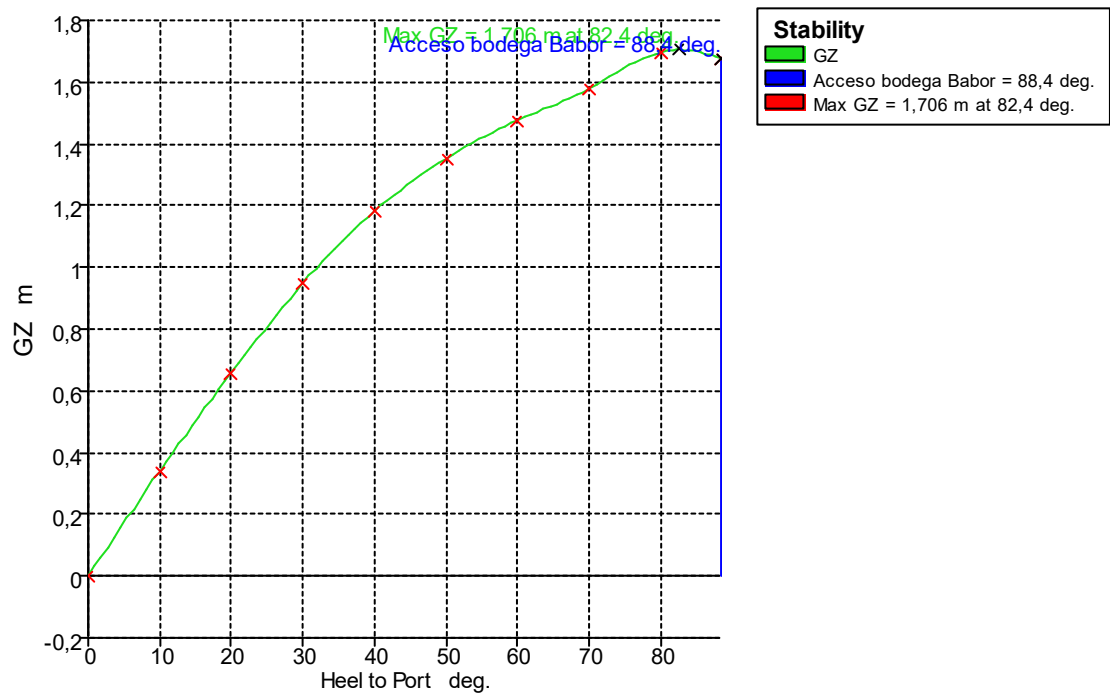


Ilustración 41. Curva de brazos adrizantes.

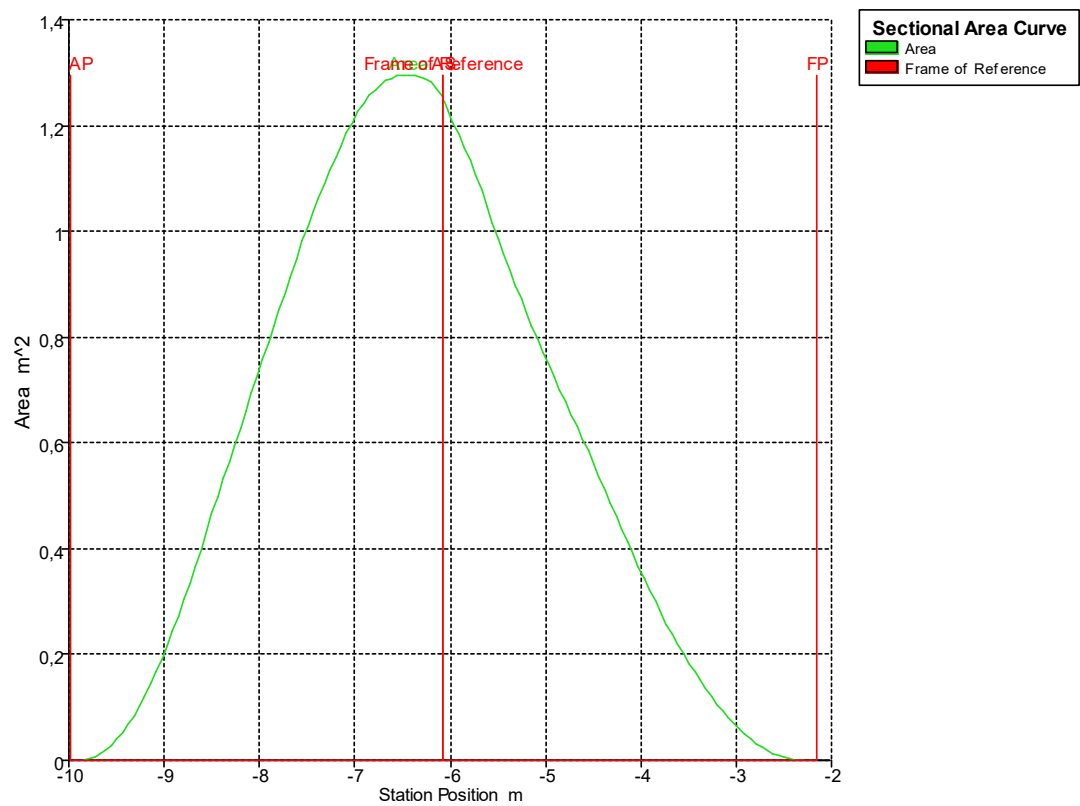


Ilustración 42. Curva de área seccional

10.3.2 Estabilidad en condición en condición mínima operativa

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m ³	Total Volume m ³	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	4,668	4,668			-6,393	0,000	1,344	0,000	User Specified
Tripulante 1	1	0,075	0,075			-8,825	-0,375	2,824	0,000	User Specified
Tripulante 2	1	0,075	0,075			-8,825	0,375	2,824	0,000	User Specified
Pertrechos	1	0,040	0,040			-5,020	0,000	1,424	0,000	User Specified
Total Loadgroup			4,858	0,000	0,000	-6,457	0,000	1,390	0,000	
FS correction								0,000		
VCG fluid								1,390		

Heel to Port deg	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	85,2
GZ m	0,000	0,151	0,287	0,402	0,476	0,510	0,521	0,538	0,603	0,595
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	0,7612	2,9603	6,4299	10,8572	15,8096	20,9765	26,2358	31,9386	35,0845
Displacement t	4,858	4,858	4,858	4,858	4,858	4,858	4,858	4,858	4,858	4,858
Draft at FP m	1,713	1,700	1,661	1,590	1,495	1,372	1,189	0,858	0,012	-1,954
Draft at AP m	1,713	1,700	1,661	1,590	1,495	1,372	1,189	0,858	0,012	-1,954
WL Length m	7,488	7,381	7,259	7,376	7,643	8,044	8,611	9,340	10,138	10,391
Beam max extents on WL m	2,363	2,319	2,231	2,057	1,771	1,621	1,824	2,212	2,694	1,604
Wetted Area m ²	21,000	20,926	20,803	20,921	21,538	22,152	22,698	22,471	20,725	19,879
Waterpl. Area m ²	12,783	12,643	12,396	11,991	10,890	10,123	10,214	11,086	10,105	8,439
Prismatic coeff. (Cp)	0,476	0,485	0,498	0,495	0,491	0,481	0,462	0,438	0,452	0,462
Block coeff. (Cb)	0,154	0,162	0,181	0,216	0,285	0,372	0,396	0,277	0,189	0,298
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-6,356	-6,372	-6,411	-6,462	-6,499	-6,515	-6,516	-6,496	-6,436	-6,409
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-6,321	-6,337	-6,380	-6,414	-6,384	-6,353	-6,341	-6,315	-6,108	-5,937
Max deck inclination deg	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	85,2000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg	Freeboard at 0,0 deg m	Freeboard at 10,0 deg m	Freeboard at 20,0 deg m	Freeboard at 30,0 deg m
Margin Line (immersion pos = -7,319 m)		23	n/a	0,455	0,251	0,054	-0,125
Deck Edge (immersion pos = -7,319 m)		26,6	n/a	0,531	0,325	0,123	-0,062
Acceso bodega Babor	Downflooding point	85,1	0	0,577	0,519	0,469	0,428

Key point	Freeboard at 40,0 deg m	Freeboard at 50,0 deg m	Freeboard at 60,0 deg m	Freeboard at 70,0 deg m	Freeboard at 80,0 deg m	Freeboard at 85,2 deg m
Margin Line (immersion pos = -7,319 m)	-0,294	-0,458	-0,611	-0,749	-0,884	-0,930
Deck Edge (immersion pos = -7,319 m)	-0,239	-0,412	-0,576	-0,726	-0,874	-0,927
Acceso bodega Babor	0,379	0,317	0,241	0,154	0,044	-0,001

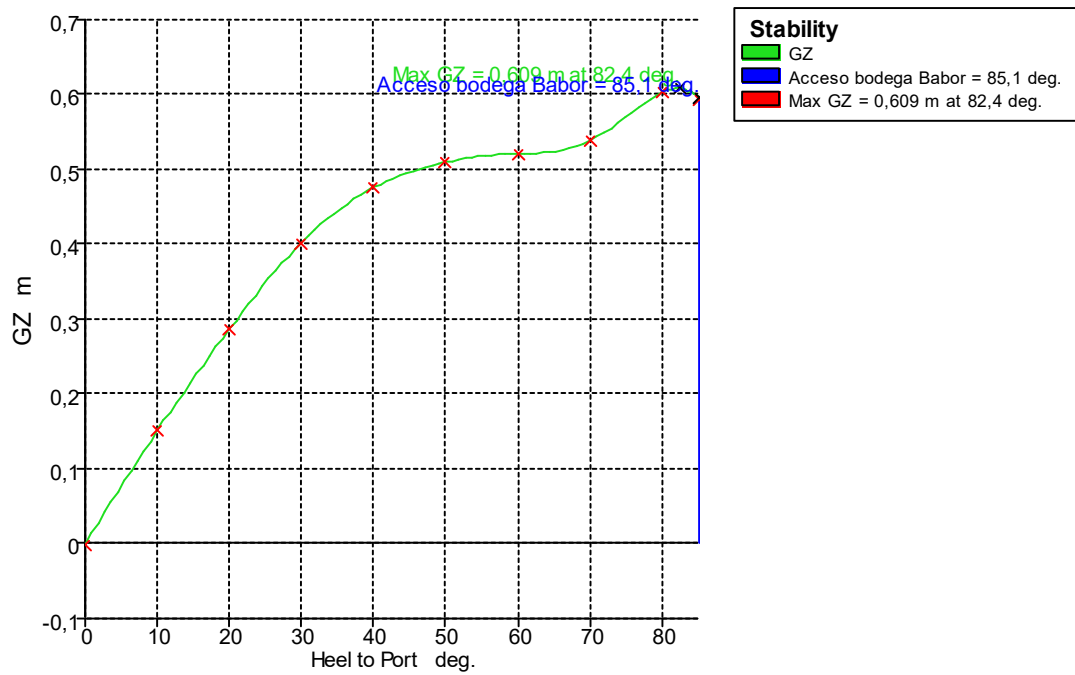


Ilustración 43. Curva de brazos adrizante

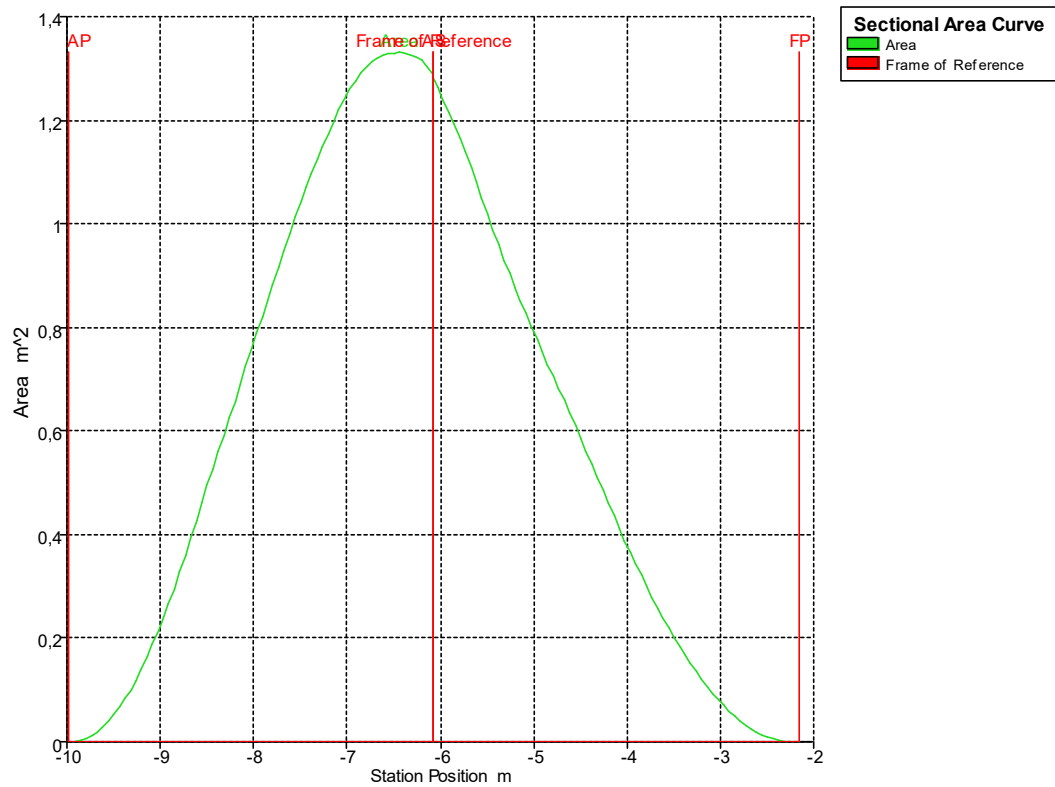


Ilustración 44. Curva de área seccional.

10.3.3 Estabilidad en condición en condición máxima carga

Item Name	Quantity	Unit Mass tonne	Total Mass tonne	Unit Volume m^3	Total Volume m^3	Long. Arm m	Trans. Arm m	Vert. Arm m	Total FSM tonne.m	FSM Type
Lightship	1	4,668	4,668			-6,393	0,000	1,344	0,000	User Specified
Tripulante 1	1	0,075	0,075			-8,825	0,375	2,824	0,000	User Specified
Tripulante 2	1	0,075	0,075			-8,825	-0,375	2,824	0,000	User Specified
Tripulante 3	1	0,075	0,075			-8,012	0,375	2,824	0,000	User Specified
Tripulante 4	1	0,075	0,075			-8,012	-0,375	2,824	0,000	User Specified
Pertrechos	1	0,080	0,080			-5,020	0,000	1,424	0,000	User Specified
Total Loadgroup			5,048	0,000	0,000	-6,492	0,000	1,433	0,000	
FS correction								0,000		
VCG fluid								1,433		

Heel to Port deg	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	82,5
GZ m	0,000	0,145	0,276	0,385	0,450	0,477	0,483	0,493	0,550	0,558
Area under GZ curve from zero heel m.deg	0,0000	0,7329	2,8492	6,1794	10,3937	15,0539	19,8677	24,7178	29,9111	31,3016
Displacement t	5,048	5,048	5,048	5,048	5,048	5,048	5,048	5,048	5,048	5,048
Draft at FP m	1,728	1,715	1,676	1,608	1,517	1,400	1,225	0,907	0,116	-0,418
Draft at AP m	1,728	1,715	1,676	1,608	1,517	1,400	1,225	0,907	0,116	-0,418
WL Length m	7,608	7,504	7,391	7,504	7,776	8,181	8,742	9,456	10,217	10,360
Beam max extents on WL m	2,379	2,337	2,251	2,043	1,758	1,609	1,843	2,162	2,697	2,684
Wetted Area m^2	21,397	21,314	21,177	21,335	21,984	22,611	23,210	23,166	21,904	21,052
Waterpl. Area m^2	13,069	12,926	12,668	12,145	10,970	10,179	10,326	11,022	10,534	9,409
Prismatic coeff. (Cp)	0,474	0,483	0,496	0,494	0,490	0,480	0,460	0,436	0,446	0,455
Block coeff. (Cb)	0,155	0,163	0,182	0,220	0,289	0,376	0,392	0,285	0,191	0,185
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-6,355	-6,370	-6,410	-6,460	-6,494	-6,509	-6,509	-6,489	-6,423	-6,404
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-6,326	-6,341	-6,382	-6,409	-6,372	-6,339	-6,324	-6,282	-6,080	-5,991
Max deck inclination deg	0,0000	10,0000	20,0000	30,0000	40,0000	50,0000	60,0000	70,0000	80,0000	82,5000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Key point	Type	Immersion angle deg	Emergence angle deg	Freeboard at 0,0 deg m	Freeboard at 10,0 deg m	Freeboard at 20,0 deg m	Freeboard at 30,0 deg m
Margin Line (immersion pos = -7,319 m)		22,2	n/a	0,441	0,237	0,039	-0,141
Deck Edge (immersion pos = -7,437 m)		25,8	n/a	0,516	0,310	0,108	-0,078
Acceso bodega Babor	Downflooding point	82,5	0	0,562	0,504	0,455	0,412

Key point	Freeboard at 40,0 deg m	Freeboard at 50,0 deg m	Freeboard at 60,0 deg m	Freeboard at 70,0 deg m	Freeboard at 80,0 deg m	Freeboard at 82,5 deg m
Margin Line (immersion pos = -7,319 m)	-0,311	-0,476	-0,629	-0,766	-0,902	-0,930
Deck Edge (immersion pos = -7,319 m)	-0,256	-0,430	-0,594	-0,743	-0,892	-0,923
Acceso bodega Babor	0,362	0,299	0,223	0,138	0,026	0,000

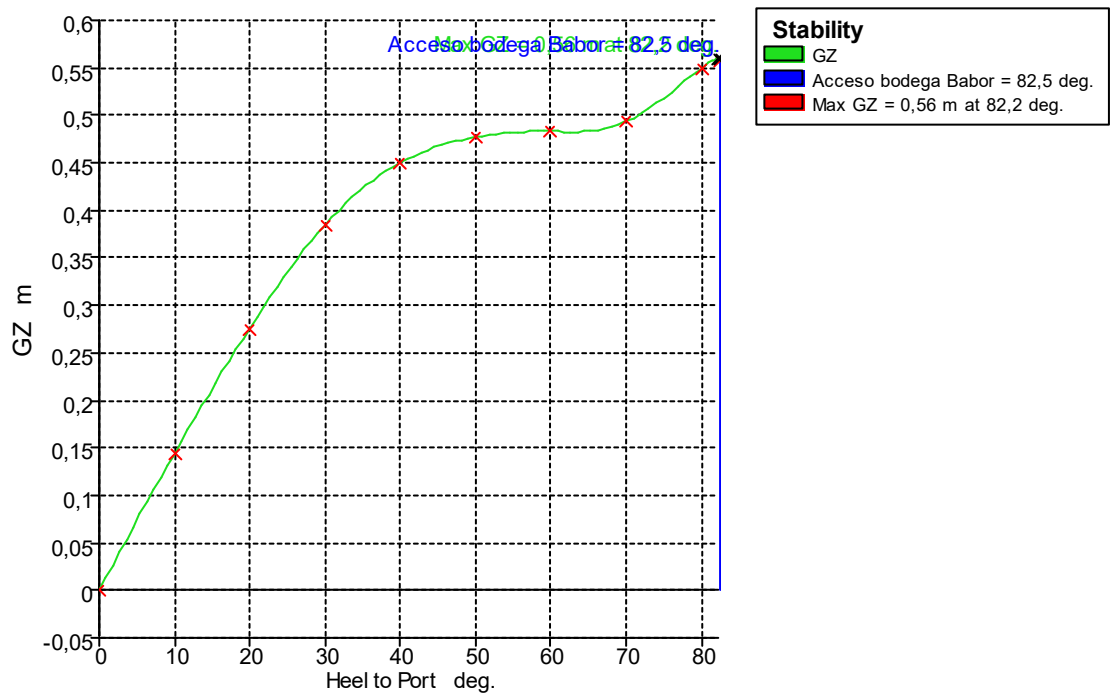


Ilustración 45. Curva de brazos adrizantes.

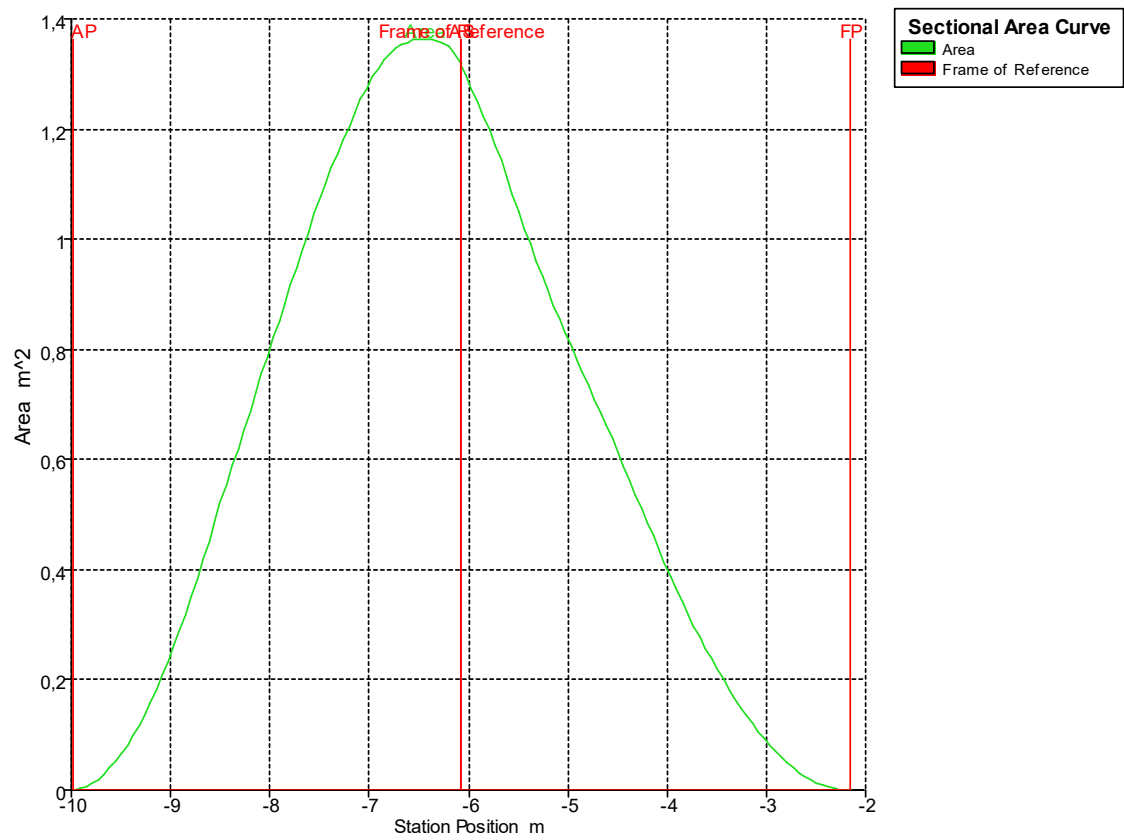


Ilustración 46. Curva de área seccional.

10.4 Hidrostática

Draft Amidships m	1,698	1,709	1,720	1,731	1,742	1,754	1,765	1,776	1,787	1,798
Displacement t	4,661	4,804	4,950	5,098	5,249	5,403	5,559	5,717	5,878	6,041
Heel deg	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Draft at FP m	1,698	1,709	1,720	1,731	1,742	1,754	1,765	1,776	1,787	1,798
Draft at AP m	1,698	1,709	1,720	1,731	1,742	1,754	1,765	1,776	1,787	1,798
Draft at LCF m	1,698	1,709	1,720	1,731	1,742	1,754	1,765	1,776	1,787	1,798
Trim (+ve by stern) m	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
WL Length m	7,361	7,453	7,546	7,640	7,734	7,830	7,926	8,024	8,122	8,221
Beam max extents on WL m	2,345	2,358	2,371	2,383	2,395	2,406	2,417	2,427	2,437	2,447
Wetted Area m ²	20,597	20,890	21,198	21,496	21,789	22,083	22,376	22,670	22,964	23,258
Waterpl. Area m ²	12,476	12,700	12,918	13,143	13,361	13,577	13,790	14,002	14,211	14,417
Prismatic coeff. (Cp)	0,477	0,476	0,475	0,474	0,473	0,472	0,471	0,470	0,469	0,468
Block coeff. (Cb)	0,153	0,154	0,155	0,156	0,157	0,157	0,158	0,159	0,160	0,161
Max Sect. area coeff. (Cm)	0,322	0,325	0,327	0,330	0,333	0,335	0,338	0,341	0,343	0,346
Waterpl. area coeff. (Cwp)	0,723	0,723	0,722	0,722	0,721	0,721	0,720	0,719	0,718	0,717
LCB from zero pt. (+ve fwd) m	-6,358	-6,357	-6,356	-6,355	-6,354	-6,353	-6,353	-6,353	-6,353	-6,353
LCF from zero pt. (+ve fwd) m	-6,316	-6,319	-6,324	-6,328	-6,332	-6,336	-6,341	-6,345	-6,350	-6,355
KB m	1,370	1,380	1,390	1,399	1,409	1,419	1,428	1,438	1,447	1,456
KG m	1,433	1,433	1,433	1,433	1,433	1,433	1,433	1,433	1,433	1,433
BMt m	0,889	0,888	0,887	0,884	0,882	0,879	0,875	0,871	0,867	0,862
BML m	8,467	8,569	8,666	8,770	8,866	8,959	9,049	9,136	9,219	9,301
GMt m	0,826	0,835	0,843	0,851	0,858	0,864	0,870	0,876	0,881	0,885
GML m	8,403	8,516	8,623	8,736	8,842	8,944	9,044	9,140	9,233	9,324
KMt m	2,259	2,268	2,276	2,284	2,291	2,297	2,303	2,309	2,314	2,318
KML m	9,836	9,949	10,056	10,169	10,275	10,377	10,477	10,573	10,666	10,757
Immersion (TPc) tonne/cm	0,128	0,130	0,132	0,135	0,137	0,139	0,141	0,144	0,146	0,148
MTc tonne.m	0,050	0,052	0,055	0,057	0,059	0,062	0,064	0,067	0,069	0,072
RM at 1deg = GMt.Disp.sin(1) tonne.m	0,067	0,070	0,073	0,076	0,079	0,081	0,084	0,087	0,090	0,093
Max deck inclination deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Trim angle (+ve by stern) deg	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

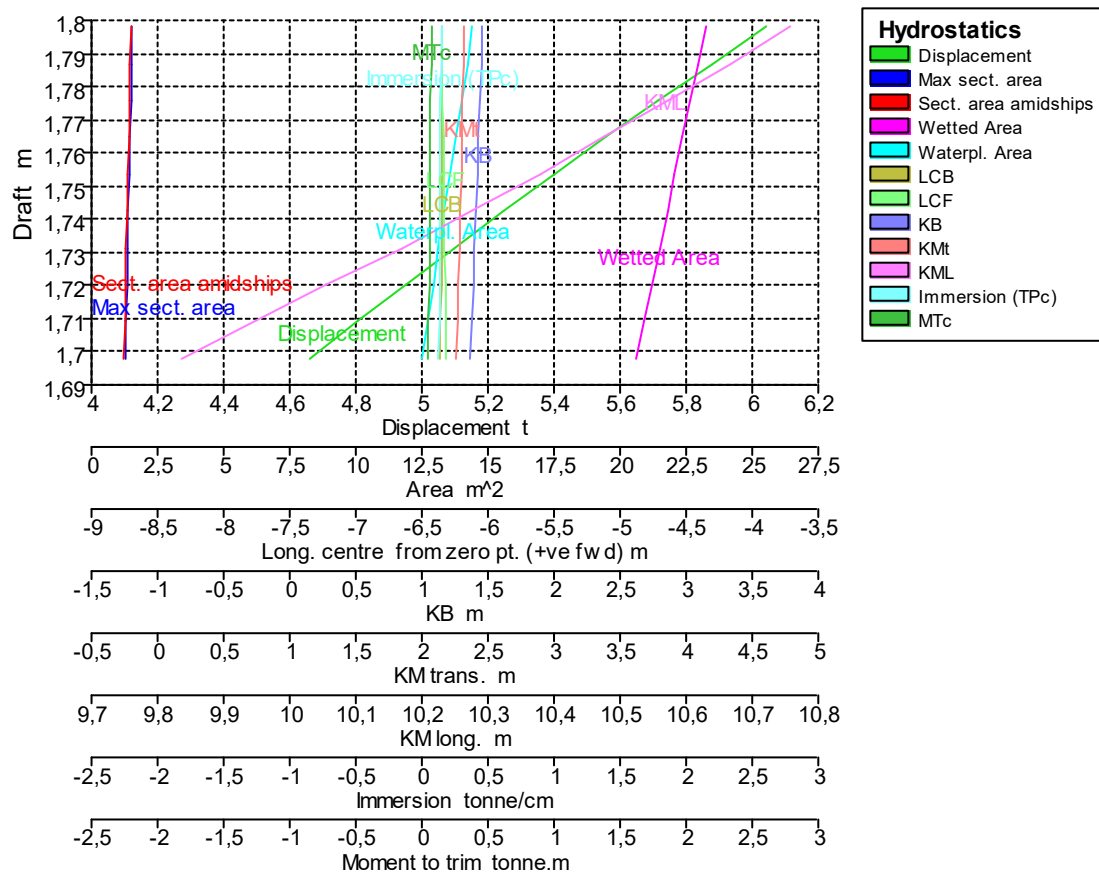


Ilustración 47. Curvas hidrostáticas.

10.5 Curvas KN

Se aplican 9 saltos desde la condición en rosca, cada salto corresponde al peso de un tripulante con sus pertrechos.

Displacement (intact) tonne	Draft Amidships m	Trim (+ve by stern) m	LCG m	TCG m	Assumed VCG m	KN 10,0 deg. Starb.	KN 20,0 deg. Starb.	KN 30,0 deg. Starb.
4,668	1,699	0,000	-6,358	0,000	0,000	0,390	0,756	1,090
4,763	1,706	0,000	-6,357	0,000	0,000	0,391	0,759	1,092
4,858	1,713	0,000	-6,356	0,000	0,000	0,392	0,761	1,095
4,953	1,720	0,000	-6,356	0,000	0,000	0,393	0,762	1,097
5,048	1,728	0,000	-6,355	0,000	0,000	0,394	0,764	1,099
5,143	1,735	0,000	-6,355	0,000	0,000	0,395	0,766	1,101
5,238	1,742	0,000	-6,354	0,000	0,000	0,395	0,768	1,103
5,333	1,749	0,000	-6,354	0,000	0,000	0,396	0,769	1,105
5,428	1,755	0,000	-6,353	0,000	0,000	0,397	0,771	1,106

Displacement (intact) tonne	Draft Amidships m	KN 40,0 deg. Starb.	KN 50,0 deg. Starb.	KN 60,0 deg. Starb.	KN 70,0 deg. Starb.	KN 80,0 deg. Starb.	KN 90,0 deg. Starb.
4,668	1,699	1,365	1,574	1,728	1,855	1,985	1,955
4,763	1,706	1,367	1,575	1,727	1,852	1,981	1,954
4,858	1,713	1,368	1,575	1,727	1,849	1,976	1,953
4,953	1,720	1,369	1,575	1,726	1,847	1,971	1,952
5,048	1,728	1,370	1,575	1,726	1,844	1,966	1,951
5,143	1,735	1,371	1,575	1,726	1,842	1,960	1,949
5,238	1,742	1,372	1,575	1,725	1,840	1,954	1,948
5,333	1,749	1,373	1,575	1,725	1,838	1,948	1,947
5,428	1,755	1,373	1,575	1,725	1,836	1,941	1,946

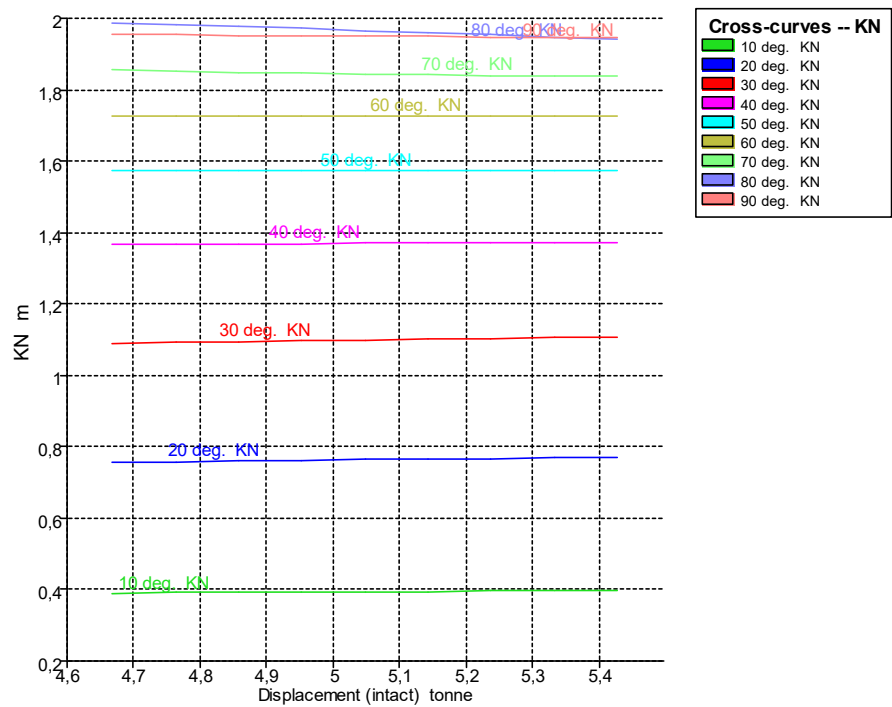


Ilustración 48. Curvas KN.

Key point	Type	Immersion angle at 4,668 t deg	Immersion angle at 4,763 t deg	Immersion angle at 4,858 t deg	Immersion angle at 4,953 t deg	Immersion angle at 5,048 t deg	Immersion angle at 5,143 t deg	Freeboard at 30,0 deg m
Deck Edge	Downflooding point	29,0	28,6	28,2	27,8	27,4	27,0	1,209
Acceso bodega Estribor	Downflooding point	Not immersed in positive range	Not immersed in positive range	Not immersed in positive range	Not immersed in positive range	Not immersed in positive range	Not immersed in positive range	0,414
Acceso bodega Babor	Downflooding point	89,9	88,3	86,8	85,4	84,2	83,0	0,771

Key point	Immersion angle at 5,238 t deg	Immersion angle at 5,333 t deg	Immersion angle at 5,428 t deg
Deck Edge	26,6	26,2	25,8
Acceso bodega Estribor	Not immersed in positive range	Not immersed in positive range	Not immersed in positive range
Acceso bodega Babor	82,0	81,0	80,0

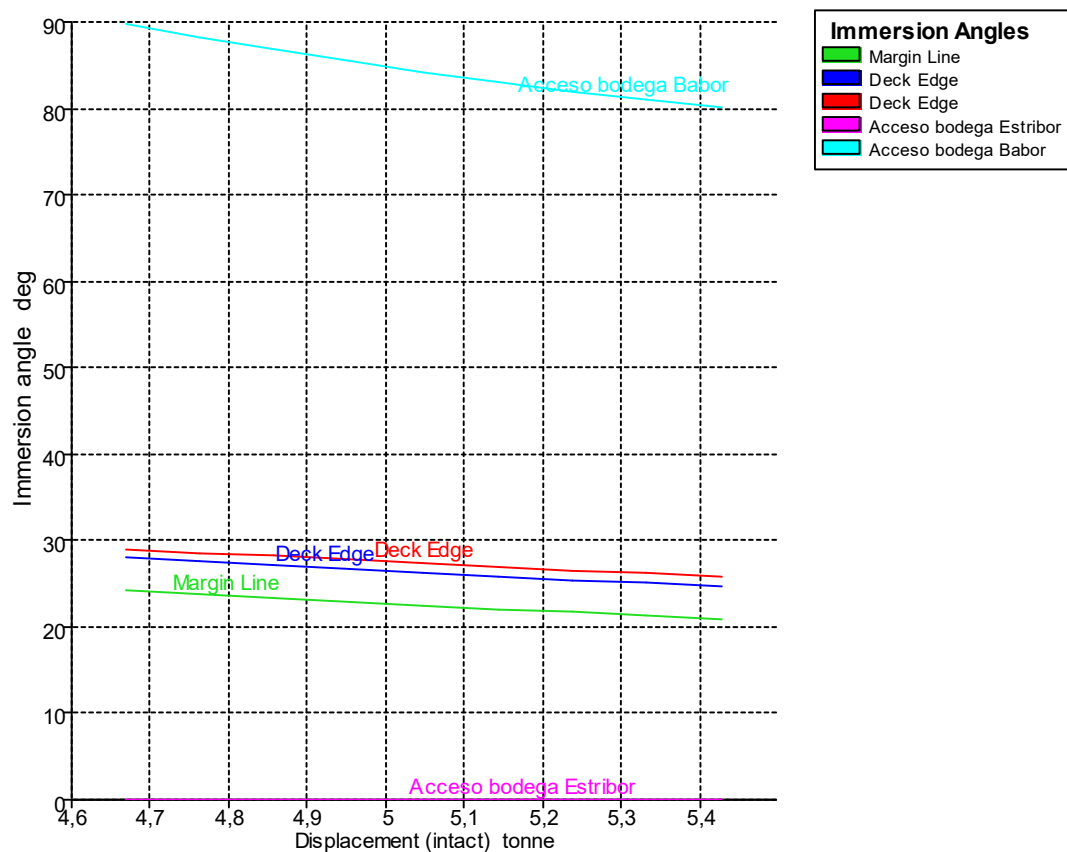


Ilustración 49. Ángulo de inmersión.

10.6 Criterios de estabilidad

Aunque se estudiará con detalle en el Capítulo 11 – Estudio de la posibilidad de cumplimiento de la Norma actual de este proyecto presentaremos los criterios a seguir para el estudio de estabilidad. Estos criterios tienen como objetivo proporcionar unos parámetros que garanticen la seguridad de la embarcación. Existen diferentes criterios para diferentes embarcaciones (Como puede ser el criterio OMI para embarcaciones pesqueras, de carga o pasaje con una eslora inferior a 100m). En este caso emplearemos al Norma (ISO 12217-2, 2015), en concreto los apartados:

- 6.2.1 Aberturas inundables (ver apartado 11.3 Aberturas inundables de este proyecto).
- 6.2.2 Altura de inundación (ver apartado 11.4 Altura de inundación de este proyecto).
- 6.7 Ensayo de recuperación tras el hundimiento (ver apartado 11.5 Ensayo de recuperación tras el hundimiento de este proyecto).

A continuación, describiremos brevemente los parámetros principales a tener en cuenta en cada punto, en el Capítulo 11 – Estudio de la posibilidad de cumplimiento de la Norma actual de este proyecto veremos con más detalle los diferentes requisitos.

Aberturas inundables, no se debe fijar ninguna abertura a una altura inferior:

- 0.2 m en las categorías de diseño A, B o C.
- 0.1 m en la categoría de diseño D.

La altura de inundación tiene por objetivo garantizar que la embarcación posee un francobordo suficiente en su condición de embarcación en carga máxima, que evite el embarque de agua a bordo. El estudio de este parámetro puede realizarse mediante un ensayo practico con la propia embarcación una vez construida, o mediante un cálculo estimado. Los diferentes ángulos mínimos que debe obtener la embarcación para las diferentes categorías de diseño los podemos ver en Tabla 38. Requisitos del ángulo de inundación.

Tabla 38. Requisitos del ángulo de inundación.

Categoría de diseño	A y B	C	D
Ángulo de inundación	40°	35°	30°

Por último, veremos los requisitos correspondientes al ensayo de recuperación, el cual busca asegurar la recuperación de la embarcación hasta una posición adrizada después del hundimiento (condición en la cual el ángulo de escora es suficiente para sumergir el tope del palo). Al igual que en el caso anterior puede realizarse mediante un ensayo con la propia embarcación o mediante cálculo. Con el cual se ha de garantizar que la embarcación dispone de un brazo de adrizamiento positivo para el ángulo inicial de escora (ángulo de hundimiento), asumiendo que la escotilla de acceso principal a la cabina está completamente abierta y que el agua puede acceder a cualquier espacio susceptible a la inundación.

Capítulo 11 – Estudio de la posibilidad de cumplimiento de la Norma actual

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

11.1 Introducción

El principal objetivo de este proyecto es el estudio de la posibilidad de obtener una embarcación con un diseño clásico (El R-11 Pirate) que cumpla la normativa actual. Por lo que se procederá a su estudio. La Tabla 39. Requisitos a aplicar en embarcaciones a vela monocasco. pertenece a la Norma (ISO 12217-2, 2015) la cual establece los requisitos a cumplir para proporcionar a la embarcación una y otra categoría de diseño para una embarcación mono casco con una eslora superior a 6 metros. Con sus correspondientes apartados de consulta para cumplir dicho requisito:

Tabla 39. Requisitos a aplicar en embarcaciones a vela monocasco. (ISO 12217-2, 2015)

Tabla 2 – Requisitos que a aplicar a las embarcaciones a vela monocasco							
Opción	1	2	3	4	5	6	7
Categorías posibles	A y B	C y D	C y D	C y D	C y D	C y D	C y D
Cubiertas o protecciones	Completamente cerrada ^a	Completamente cerrada ^a	Cualquier tipo excepto completamente cerrada ^b	Cualquier tipo excepto completamente cerrada ^b	Cualquier tipo	Cualquier tipo	Cualquier tipo excepto completamente cerrada ^b
Aberturas inundables	6.2.1	6.2.1	6.2.1	6.2.1	6.2.1	6.2.1	–
Ensayo de altura de inundación	6.2.2	6.2.2	6.2.2	–	6.2.2	–	–
Ángulo de inundación	6.2.3	6.2.3	–	–	–	–	–
Dimensiones de los nichos	6.3 ^c	–	–	–	6.3 ^d	6.3 ^d	–
Energía mínima de adrizamiento	6.4	–	–	–	–	–	–
Ángulo de estabilidad nula	6.5	6.5	–	–	–	–	–
Índice de estabilidad	6.6	6.6	–	–	–	–	–
Ensayo de recuperación tras el hundimiento	–	–	6.7	6.7	–	–	–
Ensayo de resistencia al viento	–	–	–	–	6.8	6.8	–
Requisitos de flotación	–	–	–	6.9	–	6.9	–
Ensayo de recuperación después del vuelco	–	–	–	–	–	–	6.10
Detección y achique del agua	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11	6.11
^a Este término se define en el apartado 3.1.8. ^b Es decir, toda embarcación que no esté completamente cerrada, esto incluye las embarcaciones sin ningún tipo de cubierta. ^c Sólo es aplicable a las embarcaciones que utilicen el apartado 6.5.2 y tengan $\phi < 90^\circ$. ^d Este requisito sólo se aplica a las embarcaciones de la categoría C y sean completamente cerradas.							

11.2 Cubiertas o protecciones

Con el fin de simplificar su lectura siempre que posible se seguirá el siguiente orden. Dado que no se impone ninguna categoría u opción de diseño, sino únicamente comprobar si cumpliera la normativa actual, se intentará cumplir las opciones empezando por la 1, y saltando a la siguiente siempre que se incumpla un requisito. En caso de cumplir un requisito se seguirá en orden descendente los apartados.

En caso de no cumplir ninguna opción ni categoría, entonces se reestudiará cada apartado, examinando los cambios necesarios para cumplir la Norma, echo que como veremos más adelante no será necesario.

El primer apartado consiste en determinar si nuestra embarcación se considera completamente cerrada o no, en el apartado 3.1.8 de (ISO 12217-2, 2015) indica el requisito a cumplir. Siendo este requisito que toda la embarcación exista una protección horizontal que cubra el área total del diseño, pudiendo ser esta protección una combinación de cualquiera de las siguientes opciones:

- Cubiertas estancas y superestructuras.
- Nichos estancos según lo dispuesto en (ISO 11812, 2001), siempre que sumatorio de estos volúmenes sea inferior a $(L_H B_H F_M)/40$ y todos los dispositivos de cierre deben ser estancos siguiendo las indicaciones de la Norma (ISO 12216, 2002).
- Nichos de achique rápido según lo dispuesto en (ISO 11812, 2001).

Dado que tenemos una cubierta corrida interrumpida únicamente por la superestructura central que da acceso a la habitabilidad y el nicho, debemos estudiar si dicho nicho podría cumplir con alguna de estas condiciones.

En un principio este nicho no puede considerarse de achique rápido al no disponer de abertura o dispositivo de vaciado en un principio. Por lo que debemos estudiar primero si cumple la tercera condición, donde el nicho dispone de un volumen de $V_{Nicho} = 0.583 \text{ m}^3$, mientras que el volumen máximo es:

$$V_{M\acute{a}x} = \frac{11.735 * 2.568 * 0.467}{40} = 0.352 \text{ m}^3$$

Nota: hay que tener presente que este valor sería aún menor, ya que este valor de Francobordo es el obtenido en la condición de carga máxima, pero faltaría por tener en consideración algunos pesos, por lo que se dispondría de un calado mayor y por tanto un francobordo menor.

Por lo que podemos apreciar, que no podría tampoco cumplir esta condición al exceder por mucho el valor mínimo.

Lo que nos descarta las opciones de diseño 1 y 2, y por tanto la categoría de diseño A y B quedan descartadas. Estas opciones podrían continuar siendo una opción viable si variásemos el diseño de los nichos, reduciéndolo considerablemente, o instalando un sistema de vaciado rápido. Al tratarse de una recreación histórica, con el objetivo de modificar lo menos posible la estructura y aspecto del buque, no se instalará en el nicho unas aberturas para permitir el cumplimiento de los requisitos para ser considerado nicho de achique rápido, mientras aun queden opciones de cumplimentar la Norma.

Por lo tanto, la embarcación se considerará como embarcación habitable según lo dispuesto en el apartado 3.1.9 de (ISO 12217-2, 2015). Embarcación habitable es aquella que dispone de una cabina completamente cerrada y disponga de una cubierta rígida, en cuyo interior exista al menos un banco, litera o algún elemento similar que permita el descanso durante la navegación. Estos elementos deben tener unas medidas mínimas.

- 1.5 m en diagonal.
- 0.4 m de ancho en el punto de mayor anchura.
- 0.4 m de altura libre a lo largo de toda su longitud.

11.3 Aberturas inundables

Procedemos con el siguiente apartado de la opción de diseño 3, que nos lleva a examinar las aberturas inundables y sus requisitos en el apartado 6.2.1 de la Norma (ISO 12217-2, 2015). Para ello primero definiremos el concepto de abertura inundable según lo dispuesto en el apartado 6.2.1 en (ISO 12216, 2002), portillos, ventanas, escotillas son ejemplo de estos elementos. Todos estos elementos deben cumplir la Norma (ISO 12216, 2002) según su categoría de diseño y la zona donde estén instalados. Otro requisito es no fijar en el casco escotillas o abertura del tipo ventana donde su punto más bajo este a menos de 0.2 m (en

las categorías de diseño A, B o C) o a 0.1 m (en la categoría de diseño D) de la línea de flotación. Una excepción a este requisito son las escotillas de escape de emergencia en las embarcaciones de categoría de diseño C las cuales se permite disponer a 0.1 m de la línea de flotación,

Este requisito se cumple holgadamente ya que las aberturas se encuentran en cubierta y en crujía, en el caso de las escotillas, y las ventanas se encuentran por encima de esta, cumpliendo sobradamente la distancia de 0.200 m. Si tenemos en cuenta los requisitos impuestos según lo indicado en el apartado 3.17 de la Norma (ISO 12216, 2002) los cuales son los siguientes:

Primero definiremos las áreas de donde se situarán los dispositivos. Se muestra en la Ilustración 50. Límites de áreas I y IIb. una aclaración sobre las áreas I y IIb.

- Área I: Se origina en los costados de la embarcación por encima de la línea de flotación hasta la menos de las siguientes medidas.
 - o Su unión con el borde superior del casco (en embarcaciones abiertas como es este caso).
 - o La horizontal situada a una altura h_s desde la línea de flotación medida en la mitad trasera de la línea de flotación (ver Ilustración 50. Límites de áreas I y IIb.).
 - o Una línea que parta desde una altura h_s en mitad de la línea de flotación hasta una altura de $1.2 h_s$ en el extremo proel de la línea de flotación.

Siendo h_s para veleros monocasco:

$$h_s = L_H/12$$

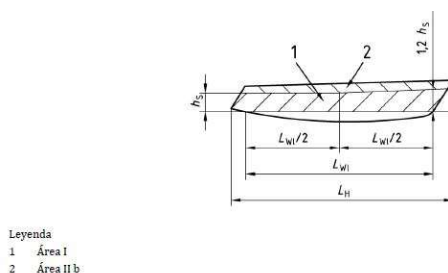


Figura 1 – Límites de Áreas I y II b

Ilustración 50. Límites de áreas I y IIb. (ISO 12216, 2002)

Por tanto, el área I se extiende desde la línea de flotación hasta:

$$h_s = \frac{11.735}{12} = 0.978m$$

Dado que esta altura excede en mucho la intersección con la cubierta a la intemperie, el área I queda definida en esta embarcación desde la línea de flotación hasta la intersección del costado con la cubierta a la intemperie.

- Área II: Se entiende como el área diferente al Área I, en la cual las personas pueden desplazarse (cubiertas, superestructuras y piso de bañeras son ejemplo de estas áreas). No puede tener una inclinación mayor a:
 - o 25° respecto la horizontal y en dirección longitudinal.
 - o 50° respecto la horizontal y en dirección transversal.
- Área III: Área distinta a las áreas I o II. En esta área se incluye los costados, proa y popa de la superestructura central.

A continuación, se definirán los parámetros importantes antes de iniciar los requisitos impuestos por esta Norma, las diferencias entre los diferentes grados de estanqueidad dispuestos en el apartado 3.20 de la Norma (ISO 12216, 2002). Entendiéndose como grado de estanqueidad a la capacidad de un elemento para impedir el embarque de agua dentro de la embarcación. Los diferentes grados de estanqueidad son:

- Grado de estanqueidad 1: Protección ante una inmersión continuada.
- Grado de estanqueidad 2: Protección frente una inmersión temporal.
- Grado de estanqueidad 3: Protección frente salpicaduras puntuales.
- Grado de estanqueidad 4: Protección contra gotas que impacten con un ángulo de hasta 15° respecto la vertical.

Una vez definidos los parámetros básicos procedemos a establecer el grado de estanqueidad de los diferentes dispositivos según

su disposición y categoría de diseño de la embarcación (ver Tabla 40. Grado mínimo de estanqueidad..), que como veremos más adelante será D.

Tabla 40. Grado mínimo de estanqueidad. (ISO 12216, 2002).

Tipo de embarcación	Área de localización del dispositivo	Tipo de dispositivo	Categoría de diseño			
			A	B	C	D
Cualquiera	Área I	Cualquiera	2	2	2	2
Cualquiera	Área II	Cualquiera	2	2	3	4
Cualquiera	Área II	Escotilla de bajada deslizante	3	3	3	4
Cualquiera	Área III	Cualquiera	3	3	3	4
Velero monocasco	Área IV	Cualquiera	3	3	3	4
Motoras + Multicasco	Área IV	Cualquiera	3	3	4	4

Atendiendo a nuestras aberturas inundables nos encontramos con:

- Ventanas: dispuestas en el Área III, por lo tanto, precisan de un grado de estanqueidad mínimo de 4.
- Escotillas sobre cubierta: dispuestas en el Área II precisan de un grado de estanqueidad mínimo de 4.
- Escotilla de acceso a la habitabilidad: dispuesta en Área III, precisan de un grado de estanqueidad mínimo de 4.
- Chubasquera, elemento que impide la entrada de agua a través del orificio del mástil: dispuesto en el Área II precisa un grado de estanqueidad mínimo de 4.

En el apartado 6.3 de la Norma (ISO 12216, 2002) nos encontramos con un requisito adicional en cuanto a la escotilla en cubierta. En el Área II en embarcaciones a vela no puede emplearse vidrio monolítico ni laminado a proa del palo, a menos que se emplee vidrio de alta resistencia a impactos, o este equipado con una tapa que cumpla los requisitos del apartado 6.3.6 de la Norma (ISO 12216, 2002), o bien disponga de un dispositivo de protección (rejilla o barras de protección). Por lo que se aconseja o bien instalar un cristal de alta resistencia o eliminar dicho cristal en el ojo de buey que se encuentra en la escotilla a proa.

11.4 Altura de inundación

Volviendo a la Norma (ISO 12217-2, 2015) en el apartado 6.2.2 nos encontramos un método aproximado para obtener la altura de inundación en el apartado 6.2.2.2 o mediante un ensayo en la propia embarcación en el ensayo 6.2.2.1.

Aplicaremos el cálculo estimado, el cual se puede aplicar a su vez dos posibles métodos, a saber:

- El método dispuesto en el anexo A de la Norma (ISO 12217-2, 2015), el cual proporciona unos requisitos más bajos.
- Aplicar lo descrito en la figura 2 (ver Ilustración 51. Altura requerida de inundación. .) de la Norma (ISO 12217-2, 2015).

Se aplicará este último método, donde a partir de esta gráfica comprobaremos cual será la altura requerida de inundación, siendo nuestra eslora del casco $L_H = 11.735 \text{ m}$, dando una altura requerida de inundación de $Y = 0.690 \text{ m}$ para la categoría C y $Y = 0.400 \text{ m}$ para la categoría D.

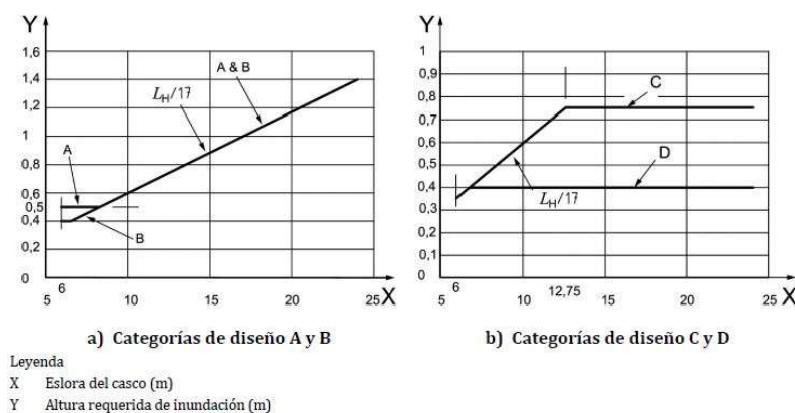


Ilustración 51. Altura requerida de inundación. (ISO 12217-2, 2015).

Siendo el francobordo de la escotilla en la condición de carga máxima $F_H = 0.548 \text{ m}$, y siendo esta abertura la que dispone un francobordo más bajo, podemos deducir que la categoría C queda excluida como opción viable, dejando únicamente la categoría de diseño D.

No es necesario el estudio de todas las aberturas ni el cálculo exhaustivo propuesto en el Anexo A, ya que el francobordo mínimo requerido por la categoría D, es inferior al francobordo y por tanto todas

las aberturas se encuentran por encima de la altura de inundación mínima. Mientras que la altura de inundación requerida por la categoría de diseño C queda en una cota muy superior al francobordo de cualquier abertura, por lo que un cálculo más exhaustivo no dará como resultado que esta opción sea viable.

11.5 Ensayo de recuperación tras el hundimiento

Este apartado tiene por objetivo comprobar que la embarcación puede recuperar la posición adrizada tras un vuelco. Puede realizarse mediante un ensayo con la propia embarcación, o mediante el cálculo del apartado 6.7.5 de la Norma (ISO 12217-2, 2015).

Para la categoría de diseño D el ángulo inicial de escora es aquel que dispone el extremo del mástil en contacto con la superficie del agua (ver Ilustración 52. Curva GZ obtenida para el ensayo de recuperación tras el hundimiento.). Primero comprobaremos cual es este ángulo *Maxsurf Stability*, añadiendo la condición de carga máxima y un *Key Point* coincidente con el extremo del mástil.

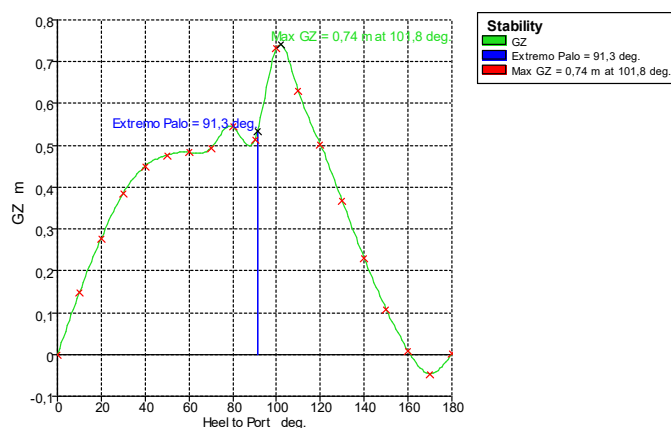


Ilustración 52. Curva GZ obtenida para el ensayo de recuperación tras el hundimiento.

Podemos observar que la embarcación tiene un momento adrizante positivo cuando el palo se encuentra a en contacto con la superficie del agua. Pero dado que se debe realizar este estudio con la escotilla de acceso completamente abierta estaremos en condición de inundación progresiva desde los 82,5° de escora (ver Ilustración 45. Curva de brazos adrizantes.), esto unido a que para certificar una categoría de

diseño D ha de permanecer 10s en esta posición nos obliga a descartar esta categoría como una opción viable, teniendo que acudir a las opciones de diseño 5 y 6 (ver Tabla 39. Requisitos a aplicar en embarcaciones a vela monocasco.).

11.6 Ensayo de resistencia al viento

Dado que los dos primeros puntos (ver 11.3 Aberturas inundables y 11.4 Altura de inundación) siguen siendo válidos y el apartado 6.3 Dimensiones del nicho de la Norma (ISO 12217-2, 2015) no aplica, ya que como hemos visto se trata de una embarcación con categoría de diseño D. Procedemos con el punto correspondiente al apartado 6.8 de la Norma (ISO 12217-2, 2015). El cual tiene por objetivo asegurar que la embarcación no se inunda cuando se aplique el momento de escora producido por la fuerza del viento sobre el velamen.

El cálculo estimado tiene tres pasos, a saber:

- Se obtiene la curva de momento (en Nm) correspondiente al par adrizante del casco, como el producto del brazo adrizante (GZ) por la masa de la embarcación en kg y la constante de la gravedad como 9.806.
- Se incrementa el valor obtenido anteriormente con:

$$294 * B_H * \cos \phi \text{ Nm}$$

- Se calcula la curva correspondiente al momento de escora para la velocidad mínima correspondiente a cada categoría (en este caso para la opción de diseño 5 y la categoría de diseño D corresponde 8 ms), esta curva se obtiene a partir de.

$$0.75 * v_w^2 * A's * (h'_{CE} + h_{LP})(\cos \phi)^{1.3} \text{ Nm}$$

La embarcación obtendrá un resultado conforme si las curvas se intersecan en un ángulo de escora inferior al ángulo de inundación, o a 45° si este valor es inferior. Por lo tanto, obtendrá el apto si se cortan antes de los 45° de escora, en caso de no obtener el apto en las categorías de diseño C y D puede realizarse el cálculo con la vela rizada

con el fin de reducir la superficie velica y por tanto el momento escorante.

El manual del propietario debe indicar claramente la velocidad del viento (expresada en m/s o en nudos) a partir de la cual es necesario realizar un arrizado de las velas. Así como llevar en un lugar visible desde el puesto de control principal un panel de seguridad tal como se muestra en la Ilustración 53. Señal de seguridad del arrizado de las velas.

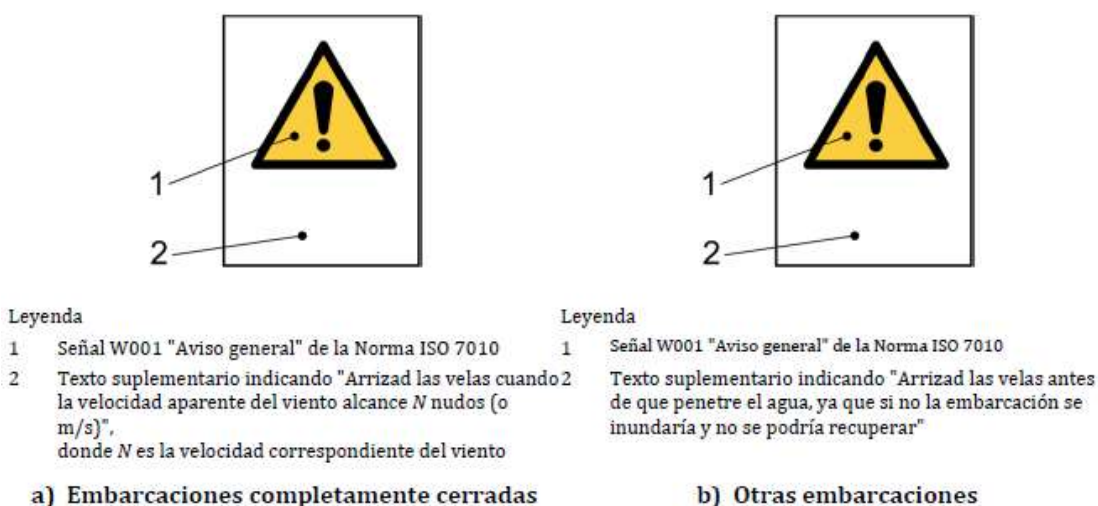


Ilustración 53. Señal de seguridad del arrizado de las velas. (ISO 12217-2, 2015)

El resultado del estudio se muestra en las tablas Tabla 41. Momento escorante y Tabla 42. Momento adrizante, junto la Ilustración 54. Curva de momento escorante y adrizante.

Tabla 41. Momento escorante.

Ángulo (°)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85,8
Momento escorante (Nm)	19770	19380	18234	16398	13981	11130	8029	4901	2030	661

Tabla 42. Momento adrizante.

Ángulo	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85,8
GZ (m)	0,000	0,155	0,293	0,411	0,488	0,526	0,541	0,562	0,628	0,613
Momento de adrizamiento (Nm)	0	7331	13857	19438	23080	24877	25586	26579	29701	28991
Momento de adrizamiento adicional	755	744	709	654	578	485	377	258	131	55
Momento de adrizamiento Total (Nm)	755	8074	14567	20092	23658	25362	25964	26838	29832	29047

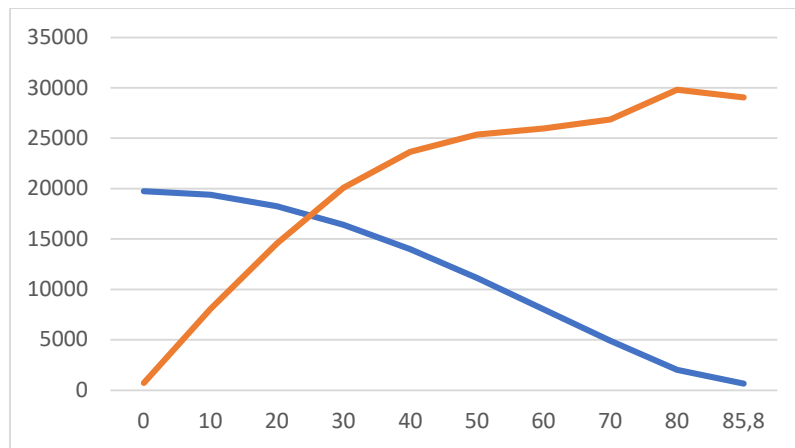


Ilustración 54. Curva de momento escorante y adrizante.

Al producirse la intersección antes de los 45° se clasifica como apto. Siendo la velocidad límite el resultado de igual el momento adrizante a la ecuación correspondiente al momento escorante y despejar la velocidad, veremos los resultados en las tablas Tabla 43. Momento escorante a velocidad a máxima. y Tabla 44. Momento adrizante a velocidad a máxima., junto la Ilustración 55. Curva de momentos escorantes y adrizantes a velocidad máxima.

$$\sqrt{\frac{M_{Adrizante}}{0.75 * A' s * (h'_{CE} + h_{LP})(\cos \phi)^{1.3}}} = v_w = 11.20 \text{ m/s}$$

Tabla 43. Momento escorante a velocidad a máxima.

Ángulo (°)	0	10	20	30	40	45
Momento escorante (Nm)	38756	37992	35745	32146	27407	24698

Tabla 44. Momento adrizante a velocidad a máxima.

Ángulo	0	10	20	30	40	45
GZ (m)	0,000	0,155	0,293	0,411	0,488	0,511
Momento de adrizamiento (Nm)	0	7331	13857	19438	23080	24167
Momento de adrizamiento adicional	755	744	709	654	578	534
Momento de adrizamiento Total (Nm)	755	8074	14567	20092	23658	24701

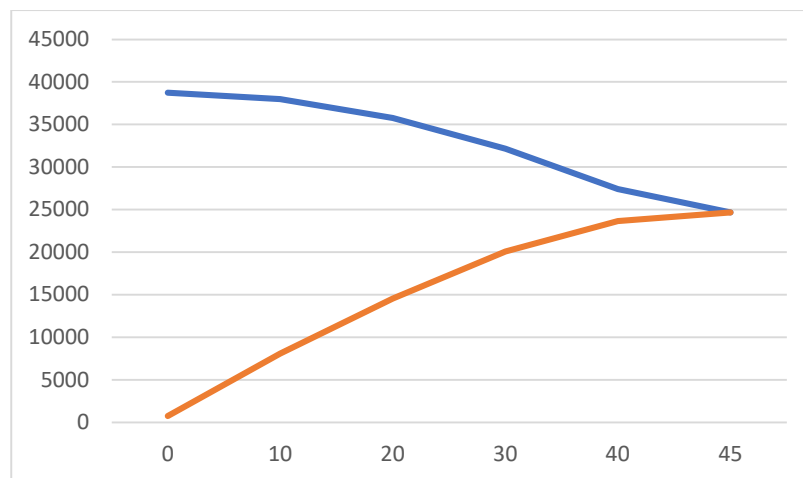


Ilustración 55. Curva de momentos escorantes y adrizantes a velocidad máxima.

11.7 Detección y achique del agua

En el apartado 6.11 de la Norma (ISO 12217-2, 2015) indica que las embarcaciones deben disponer de un sistema de achique según lo dispuesto en la Norma (ISO 15083, 2020) según el grado de protección por cubiertas.

Acudimos a la Norma (ISO 15083, 2020) donde se dispone que en embarcaciones no completamente protegidas no es preciso disponer de un sistema de bombeo de sentinas si no se dispone de un compartimento de sentinas propiamente. Pero el manual del propietario ha de especificar un medio de achique.

Al no disponer de un compartimento de sentina no es necesario la instalación del sistema de bombeo, pero comprobaremos los requisitos para nuestra categoría de diseño con el objetivo de disponer estos como elemento de achique en el manual del propietario.

En el apartado 5.1.3 de la Norma (ISO 15083, 2020) se dispone que se ha de instalar una bomba manual para una embarcación con categoría de diseño D y una eslora L_H mayor de 6 m. En cuanto a la capacidad de esta se dispone sus requisitos en el apartado 5.3 de la Norma (ISO 15083, 2020) siendo esta de 900 l/h para embarcaciones

de L_H mayor de 6 m y menor de 12 m. Esta capacidad debe alcance con 45 golpes por minuto o menos en bombas manuales.

En cuanto a la instalación los parámetros a tener en cuenta se disponen en el apartado 7 de la Norma (ISO 15083, 2020), siendo los puntos a tener en consideración en esta embarcación

- Las bombas de sentina se han de instalar en un punto accesible tanto para la limpieza del punto de aspiración, como para su mantenimiento.
- Las mangueras flexibles de aspiración no deben colapsar bajo la aspiración máxima de la bomba.
- Las salidas sobre el casco deben situarse por encima de la cubierta escorada, a menos que se instalen dispositivos antirretornos.
- La unión de mangueras flexibles debe realizarse mediante abrazaderas no corrosivas o con acoplamiento fijos permanentes.
- Las bombas manuales instaladas de forma permanente en un punto se deben instalar de forma que aseguren su funcionamiento a capacidad nominal según lo dispuesto en el apartado 5.3 de la Norma (ISO 15083, 2020).
- Los sistemas de bombeo de sentina y los dispositivos de sentina deben estar diseñados de forma que eviten la descarga accidental al mar de sustancias contaminantes, tanto con la embarcación adrizada como escorada.

Dado que se debe instalar un medio de aspiración de sentina según lo dispuesto en el apartado 5.1.2 de la Norma (ISO 15083, 2020), y los requisitos en el punto 5.1.3 de la Norma (ISO 15083, 2020) consiste en una bomba manual, con una capacidad de 900 l/h, que se ha de alcanzar con una frecuencia de 45 golpes por minuto o menos. Podemos plantearnos la instalación de esta con el fin de cumplir este punto.

Debido a que no se dispone de un pozo de sentina y que las cuadernas impiden que la gravedad desplace el agua embarcada al punto más bajo de la bodega, aun cuando las formas del casco permiten el flujo de toda el agua embarcada hasta el punto más bajo.

Las cuadernas impiden que esto se produzca de forma total, creando pequeños embalsamientos en cada clara de cuaderna.

Por este motivo se debe instalar una manguera flexible que permita a un tripulante introducir la manguera en cada clara de cuaderna, mientras que otro acciona la bomba desde el nicho.

11.8 Estudio de la Norma con pesos proporcionados

Una vez finalizado el estudio, con el único objetivo de comprobar si con los pesos no considerados se seguiría cumpliendo la Norma se realizará un estudio rápido de la misma, sin volver a explicar cada punto, únicamente si cumple o no. Recordemos que la supuesta condición en rosca una vez añadido el peso del sistema propulsor debería ser de 5.066t, y la condición de carga máxima 5.556t, sin más preámbulos procedemos con el análisis.

11.7.1 Cubiertas o protecciones

En este apartado seguimos obteniendo el mismo resultado, no se cumple la condición de embarcación completamente cerrada, y por lo tanto es válido para la opción de diseño 3.

11.7.2 Aberturas inundables

Con el requerimiento de no tener ninguna abertura inundable por debajo de 0.200m. Comprobamos que el francobordo en la condición de máxima carga (5.556 t) es en la sección media, punto donde este valor es menor, de 0.514 m, cumpliendo sobradamente este requisito. Esto era de esperar, pues los pesos no considerados, no suponen una diferencia excesiva con el peso directo proporcionado, por lo tanto, el calado no debería variar tanto como para invalidar este punto.

11.7.3 Ensayo de resistencia al viento

Se recalcula las curvas con la nueva condición de carga, obteniendo en las tablas Tabla 45. Momentos escorantes con pesos proporcionados. y Tabla 46. Momentos adrizantes con pesos proporcionados., junto la Ilustración 56. Curva de momentos escorantes y adrizantes con pesos proporcionados. el siguiente resultado.

Tabla 45. Momentos escorantes con pesos proporcionados.

Ángulo (°)	0	10	20	30	40	45
Momento escorante (Nm)	19770	19380	18234	16398	13981	12456

Tabla 46. Momentos adrizantes con pesos proporcionados.

Ángulo	0	10	20	30	40	45
GZ (m)	0,000	0,158	0,301	0,422	0,495	0,515
Momento de adrizamiento (Nm)	0	8089	15410	21605	25343	26367
Momento de adrizamiento adicional (Nm)	755	744	709	654	578	529
Momento de adrizamiento Total (Nm)	755	8833	16120	22259	25921	26896

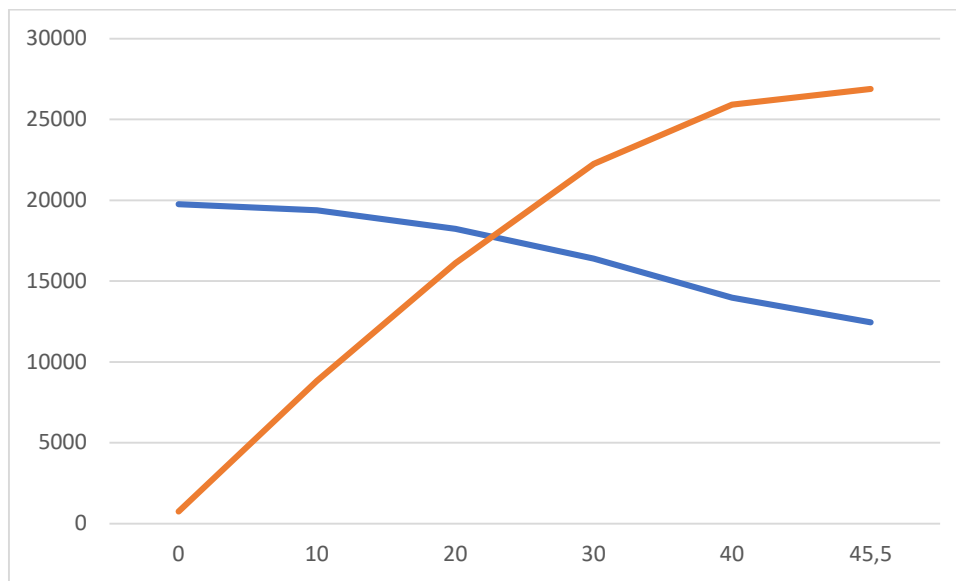


Ilustración 56. Curva de momentos escorantes y adrizantes con pesos proporcionados.

Y la velocidad del viento máxima a partir de la cual se ha de indicar en la señal correspondiente es:

$$\sqrt{\frac{M_{\text{Adrizante}}}{0.75 * A' S * (h'_{CE} + h_{LP})(\cos \phi)^{1.3}}} = v_w = 11.69 \text{ m/s}$$

11.7.4 Detección y achique del agua

Al no depender del calado este apartado se mantiene exactamente igual al apartado anterior.

11.8 Conclusiones

En este trabajo se ha mostrado el proceso de rediseño de la embarcación R11-Pirate, partiendo del diseño original como datos base se ha obtenido:

- Sistema propulsor, añadiéndose un sistema de autopropulsión para las maniobras de puerto.
- Plano velico y el aparejo, obteniéndose las dimensiones principales.
- El sistema de gobierno.
- Escantillonado de los principales elementos estructurales.
- La distribución de los diferentes pesos y el centro de gravedad de la embarcación en diferentes condiciones de carga.
- Así como estudiar la posibilidad de cumplimentar la normativa actual.

Una vez finalizado este estudio, se llegó a la conclusión de que se podía adjudicar la opción de diseño 5, cumplimentando los requisitos de la categoría de diseño D. Con lo cual esta embarcación cumpliría con la normativa actual; necesitando solamente ligeros cambios como la supresión del cristal en la escotilla de proa o la adición de una bomba de sentina. Por tanto, la embarcación es apta para navegación diurna y nocturna con las pequeñas modificaciones arriba descritas.

En futuros estudios podría estudiarse la posibilidad de reacondicionar el aparejo a sistemas modernos que permitan un mayor aprovechamiento de la energía eólica o un manejo de estas más cómodo. Intentando conservar siempre la apariencia de embarcación clásica. Así mismo podría estudiarse la posibilidad de reestructurar ligeramente la embarcación con el fin de obtener una categoría diferente a la obtenida en el presente proyecto, el cual tenía por objetivo únicamente comprobar si podría cumplir o no con la Norma, y no obtener una certificación concreta.

Capítulo 12 – Bibliografía empleada

Proyecto de embarcación histórica velero clase R, Pirate



Autor: Álvaro Pérez Mullois
Tutor: Leandro Ruiz Peñalver

Bibliografía

(s.f.).

Arquitectura Buque. (12 de 6 de 2011). Obtenido de <http://arquitecturabuque.blogspot.com/>

Asociación Argentina Clase Grumete. (6 de 2021). Obtenido de www.grumete.com.ar

BOE núm 113. (12 de mayo de 2003). ORDEN FOM/1144/2003. España.

BOE núm 88. (13 de abril de 2006). ORDEN FOM/1076/2006.

Cables estructurales. (9 de 2021). Obtenido de <https://www.cablesestructurales.com/>

Det Norske Veritas . (Noviembre de 1971). Rules 1970 for the construction and classification of wooden ships. Det Norske Veritas.

Fondear. (9 de 2021). Obtenido de <http://www.fondear.org/>

Gil, L. S. (1983). Diccionario técnico marítimo inglés-español, español-inglés. Madrid: Alhambra.

ISO 11812. (2001). Pequeñas embarcaciones. Bañeras estancas y bañeras de vaciado rápido.

ISO 12215-5. (2008). Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones, parte 5: Presiones de diseño, tensiones de diseño y determinación del escantillón.

ISO 12215-8. (2009). Pequeñas embarcaciones. Construcción de cascos y escantillones, parte 8: Timones.

ISO 12216. (2002). Pequeñas embarcaciones. Ventanas, portillos, escotillas , tapas y puertas. Requisitos de resistencia y estabilidad.

ISO 12217-2. (2015). Pequeñas embarcaciones. Evaluación y clasificación de la estabilidad y la flotabilidad. Parte 2: Embarcaciones propulsadas a vela de eslora igual o superior a 6m.

ISO 14946. (2001). Embarcaciones de recreo. Capacidad de carga máxima.

ISO 15083. (2020). Pequeñas embarcaciones. Sistema de bombeo de sentinas.

ISO 8666. (2016). Pequeñas embarcaciones. Datos principales.

Kraeutler. (9 de 2021). Obtenido de <https://www.kraeutler.at/>

Lars Larsson and Rolf E Eliasson. (2000). *Principles of yacht design*. London: Adlard Coles Nautical.

Nautical dictionary. (9 de 2021). Obtenido de <http://www.nautical-dictionary.com/>

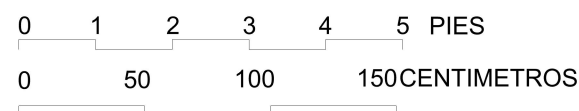
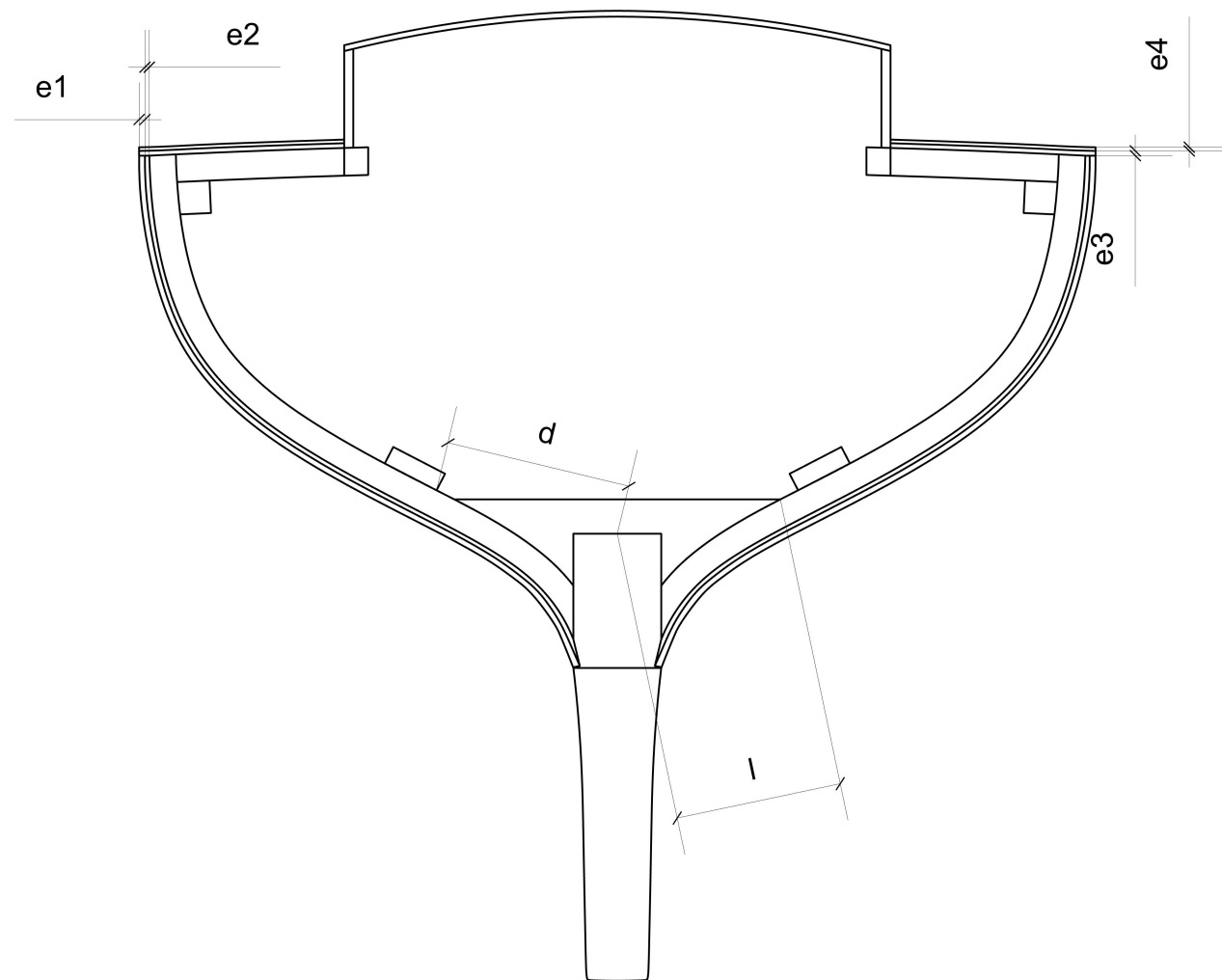
Nordic Boat Standard. (1990). *Commercial boats less than 15*.

Piktronik. (9 de 2021). Obtenido de <https://www.piktronik.com/>

The Model Shipwright. (9 de 2021). Obtenido de <https://www.themodelshipwright.com/>

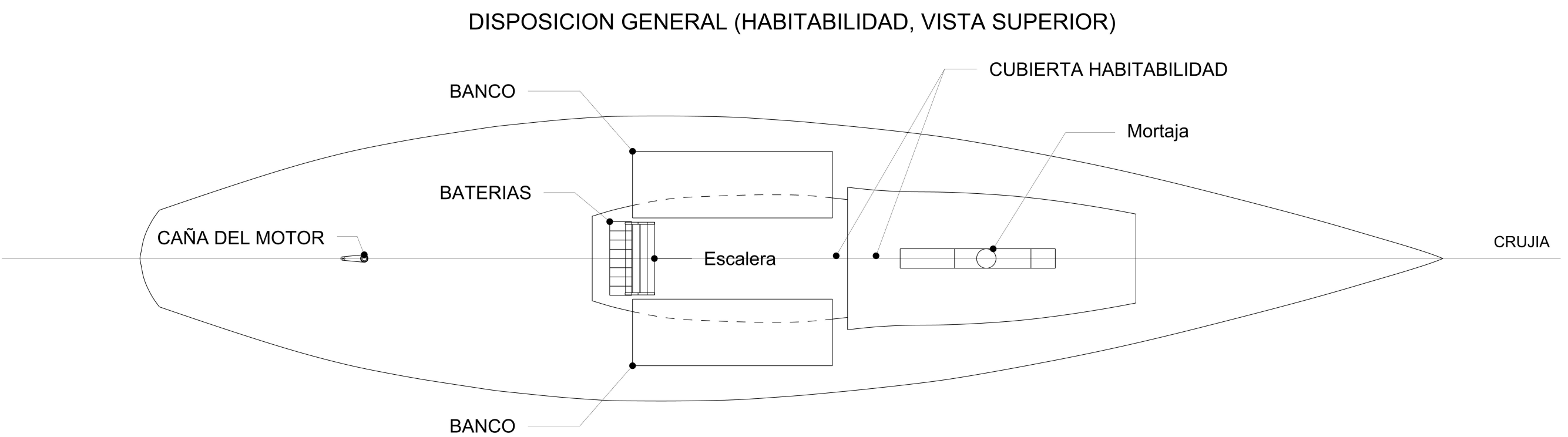
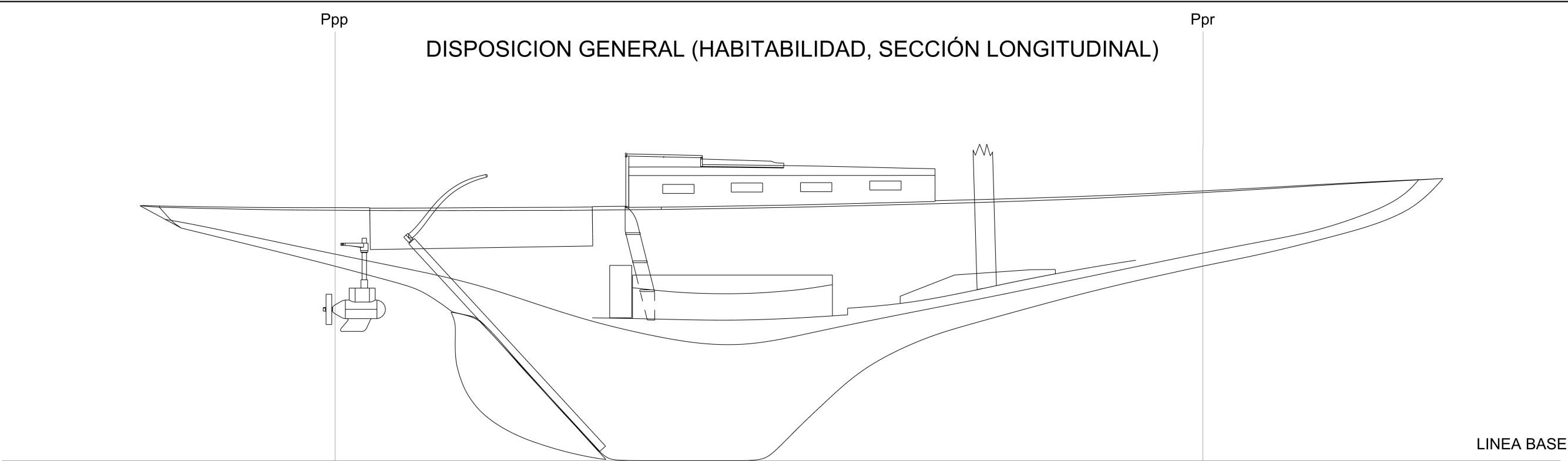
The R Class Racing Sloop Directory. (9 de 2021). Obtenido de <https://r-class.org/>

Torqueedo. (9 de 2021). Obtenido de <https://www.torqueedo.com/es>

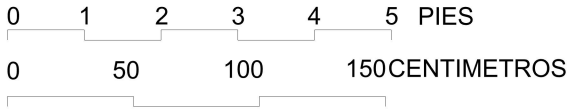


Escantillones		
ELEMENTO	ESCANTILLON	MATERIAL
CUADERNA	b=0.073 m	ROBLE BLANCO
BAO	b=0.066 m	TECA
	h=0.076 m	
FORRO	e1=0.016 m	TECA
	e2=0.013 m	CEDRO ROJO
QUILLA	b=0.145 m	ABETO
	h=0.160 m	
DURMIENTE	h=0.089 m	ABETO DOUGLAS
	t=0.089 m	
Palmejar	d=0.588 m	ABETO DOUGLAS
VARENGA	l=0.457 m	TECA
LONGITUDINAL DE CUBIERTA	b=0.066 m	TECA
	h=0.076 m	
CUBIERTA	e3=0.010 m	TECA
	e4=0.013 m	CEDRO ROJO
COSTADO DE LA SUPERESTRUCTURA	e=0.025 m	TECA
CUBIERTA DE LA SUPERESTRUCTURA	e=0.016 m	CEDRO ROJO

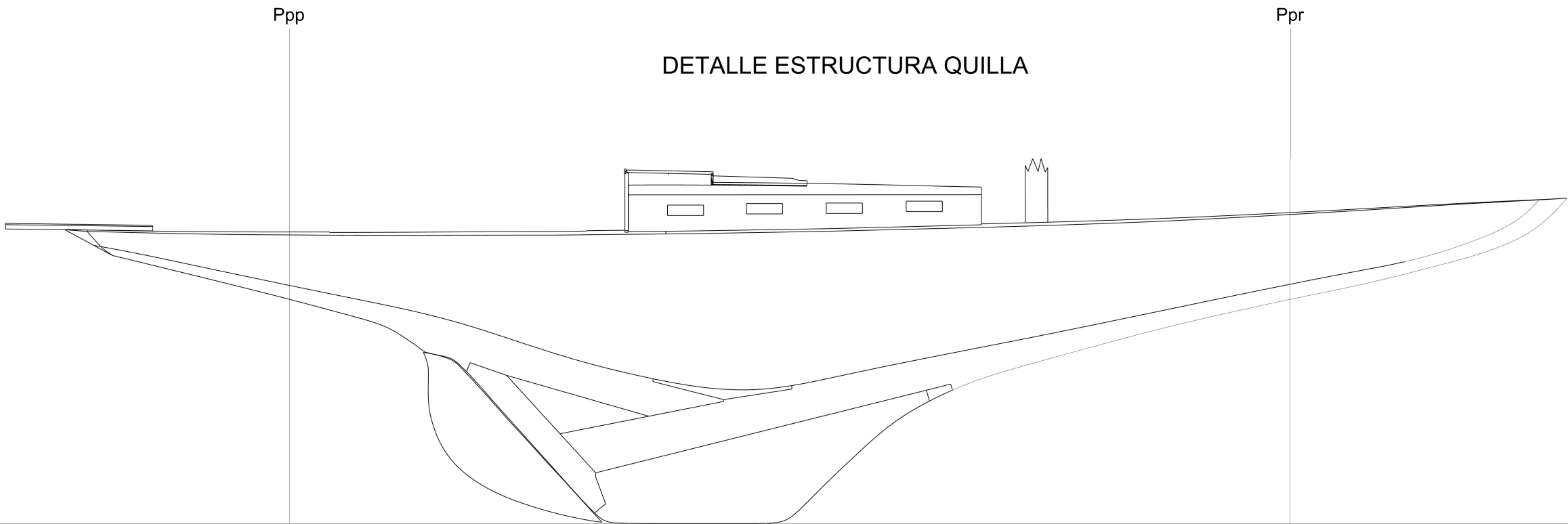
UPCT				
GANISM				ESCALA: 1/20
				FECHA: 07/09/21
	CUADERNA MAESTRA (R-11 PIRATE)		MATERIAL: MADERA	UNIDADES: m
	DISEÑO: ÁLVARO PÉREZ MULLOIS		DIBUJÓ: ÁLVARO PÉREZ MULLOIS	CANTIDAD:
	APROVÓ:		REVISÓ:	NO: A3-001



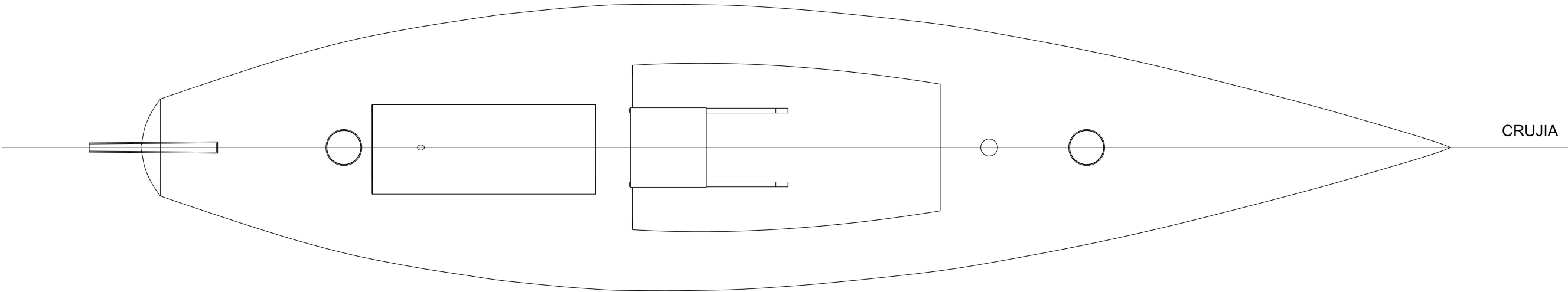
CARACTERISTICAS PRINCIPALES	
ESLORA TOTAL	11.735 m
MANGA	2.568 m
PUNTAL	2.278 m



UPCT				
GANISM				ESCALA: 1/40
				FECHA: 28/09/21
	DISPOSICION GENERAL (R-11 PIRATE)		MATERIAL: MADERA	UNIDADES: m
				CANTIDAD:
	DISEÑO: ÁLVARO PÉREZ MULLOIS		DIBUJÓ: ÁLVARO PÉREZ MULLOIS	NO: A3-001
	APROVÓ:		REVISÓ:	

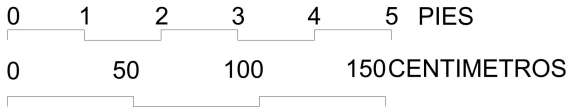


DISPOSICIÓN CUBIERTA

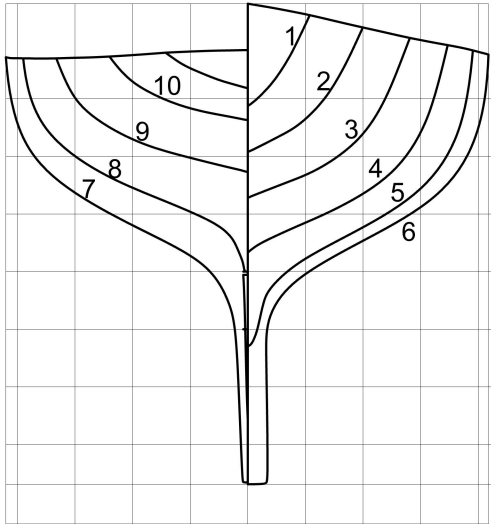


ABERTURA DE INUNDACIÓN	
ESLORA	7.333 m
MANGA	+0.357 m -0.357 m
PUNTAL	2.290 m

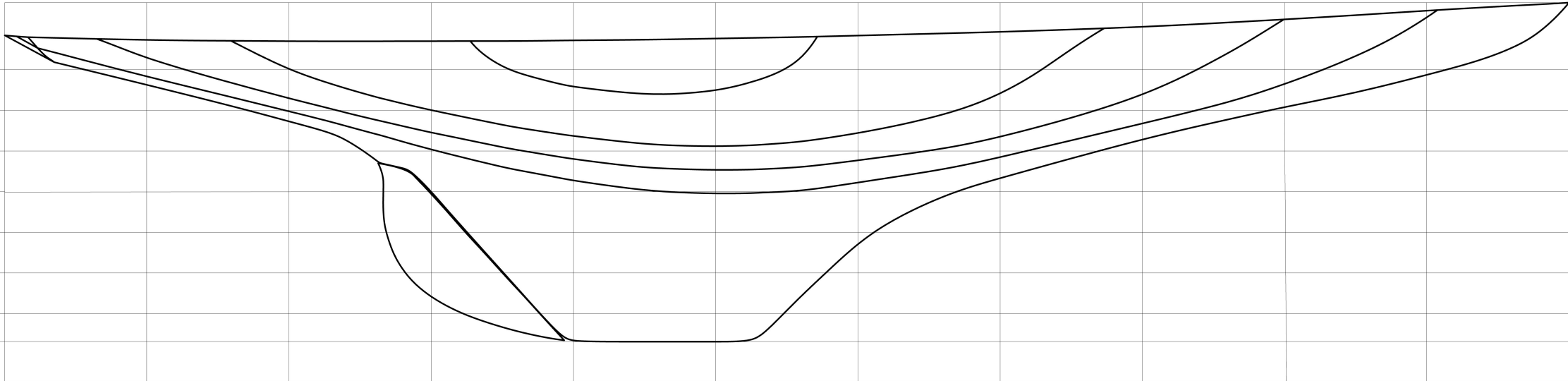
CARACTERISTICAS PRINCIPALES	
ESLORA TOTAL	11.735 m
MANGA	2.568 m
PUNTAL	2.278 m



UPCT			
GANISM			ESCALA: 1/40
			FECHA: 28/09/21
	DISPOSICION GENERAL 2(R-11 PIRATE)		MATERIAL: MADERA
	DISEÑÓ: ÁLVARO PÉREZ MULLOIS		UNIDADES: m
	DIBUJÓ: ÁLVARO PÉREZ MULLOIS		CANTIDAD:
APROVÓ:		REVISÓ:	NO: A3-002

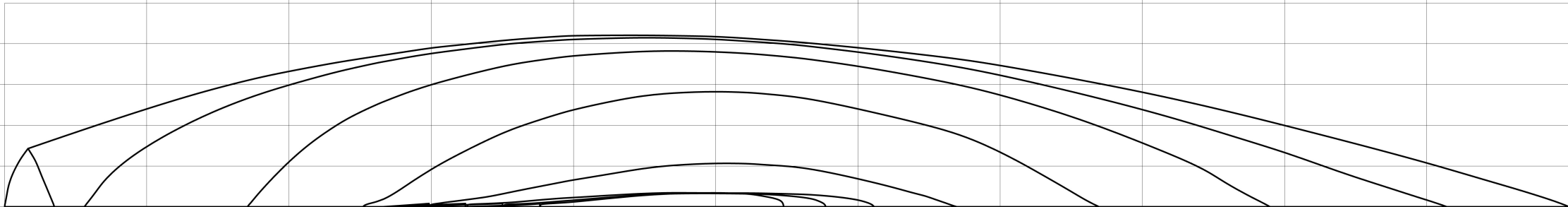


L.A 7
L.A 6
L.A 5
L.A 4
L.A 3
L.A 2
L.A 1
Linea Base



10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

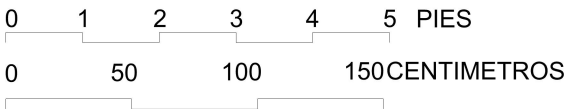
Long. 4
Long. 3
Long. 2
Long. 1
Crujía



CARACTERISTICAS PRINCIPALES

ESLORA TOTAL	11.735 m
MANGA	2.568 m
PUNTAL	2.278 m

SEPRARACION SECCIONES	1.067 m
SEPRARACION L.A.	0.305 m
SEPRARACION L.A1-L.B	0.210 m
SEPRARACION LONG.	0.305 m



UPCT

GANISM

PLANO DE FORMAS (R-11 PIRATE)

MATERIAL:
MADERA

ESCALA: 1/40
FECHA: 07/09/21

UNIDADES: m
CANTIDAD:

DISEÑO: ÁLVARO PÉREZ MULLOIS

DIBUJÓ: ÁLVARO PÉREZ MULLOIS

NO: A3-001

APROVÓ:

REVISÓ: